



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF 184838

**IDENTIFIKASI KETEBALAN SEDIMEN DOLINA KARST
MENGUNAKAN METODE TAHANAN JENIS KONFIGURASI
WENNER-SCHLUMBERGER DI DESA SEKAR, PACITAN**

PUTRI NAWANGSARI
NRP. 0341164000016

Dosen Pembimbing I
Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T.
NIP. 19690906 199702 1 001

Dosen Pembimbing II
M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T.
NIP. 19800916 200912 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - RF 184838

**IDENTIFIKASI KETEBALAN SEDIMEN DOLINA KARST
MENGUNAKAN METODE TAHANAN JENIS KONFIGURASI
WENNER-SCHLUMBERGER DI DESA SEKAR, PACITAN**

PUTRI NAWANGSARI
NRP. 0341164000016

Dosen Pembimbing I
Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T.
NIP. 19690906 199702 1 001

Dosen Pembimbing II
M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T.
NIP. 19800916 200912 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

UNDERGRADUATE THESIS - RF 184838

IDENTIFICATION OF KARST DOLINE SEDIMENT THICKNESS USING RESISTIVITY METHOD WITH WENNER-SCHLUMBERGER CONFIGURATION IN SEKAR VILLAGE, PACITAN

PUTRI NAWANGSARI
NRP. 0341164000016

Advisor I
Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T.
NIP. 19690906 199702 1 001

Advisor II
M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T.
NIP. 19800916 200912 1 002

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering, Planning and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”





HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Putri Nawangsari
NRP : 03411640000016
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Identifikasi Ketebalan Sedimen Dolina Karst
Menggunakan Metode Tahanan Jenis Konfigurasi
Wenner-Schlumberger di Desa Sekar, Pacitan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 27 Juni 2020

1. 
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T. (Pembimbing I)
NIP. 19690906 199702 1 001
2. 
M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T. (Pembimbing II)
NIP. 19800916 200912 1 002
3. 
Juan Pandu G.N.R., S.Si., M.T. (Penguji I)
NIP. 19890612 201504 1 003
4. 
Nita Ariyanti, S.T., M.Eng. (Penguji II)
NIP. 370181001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul “**IDENTIFIKASI KETEBALAN SEDIMEN DOLINA KARST MENGGUNAKAN METODE TAHANAN JENIS KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER DI DESA SEKAR, PACITAN**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 27 Juni 2020



Putri Nawangsari
NRP. 03411640000016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Identifikasi Ketebalan Sedimen Dolina Karst Menggunakan Metode Tahanan Jenis Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* di Desa Sekar, Pacitan

Nama Mahasiswa : Putri Nawangsari
NRP : 0341164000016
Departemen : Teknik Geofisika
Pembimbing I : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.
Pembimbing II : M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T.

ABSTRAK

Dolina merupakan cekungan yang berada pada sela antar bukit di wilayah karst yang memiliki sedimen lebih tebal dari daerah sekitarnya. Dolina menjadi indikator adanya pelarutan yang signifikan akibat adanya manifestasi seperti rongga di dalam tanah atau batuan. Ketebalan sedimen yang dimaksud dalam penelitian adalah lapisan lunak yang berasal dari pelarutan batuan di sekitar dolina dan terendapkan di area dolina maupun hasil pelarutan batuan dasar yang disebabkan oleh air yang menembus melalui celah batuan secara terus-menerus. Sedangkan batuan dasar yang dimaksud adalah lapisan batuan yang memiliki nilai resistivitas lebih besar dan kontras resistivitasnya terlihat cukup jauh dengan lapisan sedimen. Metode geolistrik resistivitas 2D dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan secara lateral dan vertikal sehingga digunakan dalam penelitian ini. Konfigurasi yang digunakan adalah Konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Ketebalan sedimen dapat diidentifikasi dari kontras resistivitas batuan yang dapat dilihat dari penampang hasil inversi. Penelitian dilakukan di dolina sekitar Luweng Dawung, Desa Sekar, Pacitan. Terdapat 4 lintasan pengukuran yang sejajar, dengan panjang lintasan 140 m, 145 m, 145 m, dan 155 m dominan berarah barat laut-tenggara. Data hasil pengukuran di lapangan diolah dengan perangkat lunak *Res2dinv*. Berdasarkan geologi regional, daerah penelitian termasuk ke dalam Formasi Wonosari yang tersusun atas dominan batuan karbonat terumbu. Pada penampang hasil inversi setiap lintasan terlihat persebaran nilai resistivitas yang menunjukkan litologi daerah penelitian. Nilai resistivitas di bawah $20 \Omega\text{m}$ diinterpretasi sebagai tanah penutup dolina atau disebut sedimen dan nilai resistivitas di atas $20 \Omega\text{m}$ diinterpretasi sebagai batuan karbonat terumbu atau disebut *bedrock*. Selain itu, nilai resistivitas antara $10\text{-}20 \Omega\text{m}$ diinterpretasi sebagai rongga penuh air yang letaknya berada di antara batuan karbonat terumbu. Ketebalan sedimen pada lintasan NWG-1 sebesar 25 m, NWG-2 sebesar 16 m, NWG-3 sebesar 17 m, dan NWG-4 sebesar 20 m. Hubungan ketebalan antar lintasan dapat diperoleh jika data mencakup wilayah yang lebih luas.

Kata Kunci : Dolina, Karst, *Wenner-Schlumberger*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Identification of Karst Doline Sediment Thickness Using Resistivity Method with Wenner-Schlumberger Configuration in Sekar Village, Pacitan

Student Name : Putri Nawangsari
Student ID : 0341164000016
Department : Geophysical Engineering
Advisor I : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.
Advisor II : M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T.

ABSTRACT

Dolina is a basin between the hills in the karst region which has thicker sediments than the surrounding area. Dolina is an indicator of significant dissolution due to manifestations such as cavities in the soil or rocks. The thickness of the sediment referred to in this study is the soft layer that originates from the dissolution of rocks around the dolina and is deposited in the dolina area as well as the results of the dissolution of bedrock caused by water that penetrates through the rock gap continuously. While the bedrock is a rock layer that has a greater resistivity value and the resistivity contrast looks quite far from the sedimentary layer. 2D resistivity geoelectric method can be used to delineate subsurface conditions laterally and vertically so that it is used in this study. The configuration used is Wenner-Schlumberger Configuration. Sediment thickness can be identified from the contrast of rock resistivity which can be seen from the cross section of the inversion results. The study was conducted in dolina around Luweng Dawung, Sekar Village, Pacitan. There are 4 parallel lines, with a length of 140 m, 145 m, 145 m, and 155 m dominantly directed northwest-southeast. Data from measurements in the field are processed with Res2dinv software. Based on regional geology, the study area is in Wonosari Formation which is composed of dominant reef limestone. In the cross section of the inversion results for each line, it is seen that the resistivity value distribution shows the lithology of the study area. Resistivity values below 20 Ωm are interpreted as soil cover dolina or called sediment and resistivity values above 20 Ωm are interpreted as reef limestone or called bedrock. In addition, resistivity values between 10-20 Ωm are interpreted as cavities full of water that are located between reef limestone. The thickness of the sediment in NWG-1 is 25 m, NWG-2 is 16 m, NWG-3 is 17 m, and NWG-4 is 20 m. Thickness relationships between lines can be obtained if the data covers a wider area.

Keywords : Doline, Karst, Wenner-Schlumberger

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**IDENTIFIKASI KETEBALAN SEDIMEN DOLINA KARST MENGGUNAKAN METODE TAHANAN JENIS KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER DI DESA SEKAR, PACITAN**”. Pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga atas dukungan moril maupun materi selama menjalani tugas akhir
2. Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si. selaku ketua Departemen Teknik Geofisika ITS
3. Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T. dan M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T. selaku pembimbing selama penyusunan tugas akhir
4. Dosen dan staf Departemen Teknik Geofisika ITS
5. Tim Pacitan yang selalu ada dalam suka dan duka
6. Mbak Vibry dan Mbak Silmi atas semua bantuan dan dukungan yang diberikan selama menjalani tugas akhir
7. Teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2016 (TG05) atas bantuan dan diskusi, serta menemani selama pengerjaan tugas akhir
8. Teman-teman SMA yang selalu mendukung dan menyemangati
9. dan semua pihak yang terlibat.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah diberikan. Penulis menyadari jika penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini memberi manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 20 Juni 2020

Putri Nawangsari

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Dasar Teori.....	3
2.1.1 Geologi Regional	3
2.1.2 Metode Geolistrik Resistivitas.....	9
2.2 Penelitian Terdahulu	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	19
3.2 Peralatan Penelitian	19
3.2.1 Peralatan Akuisisi	19
3.2.2 Perangkat Lunak untuk Pengolahan Data	19
3.3 Diagram Alir Penelitian	20
3.4 Tahapan Penelitian	21
3.4.1 Studi Literatur.....	21
3.4.2 Survei Pendahuluan	21
3.4.3 Desain Akuisisi.....	21
3.4.4 Akuisisi Data	23
3.4.5 Pengolahan Data.....	23
3.4.6 Interpretasi.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Penampang 2 Dimensi.....	27
4.2 Hubungan Ketebalan Sedimen antar Lintasan dan Data Pendukung.....	30
4.3 Faktor Pengontrol.....	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	39
PROFIL PENULIS	47

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik satuan geomorfologi daerah penelitian (Aliyan, 2018)	15
Tabel 2.2 Rentang nilai resistivitas batuan berdasarkan (Kuswanto, 2005, Andriyani dkk., 2010, dan Naufaldi, 2017)	16
Tabel 2.3 Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai (Koesuma dkk., 2018)	18
Tabel 3.1 Koordinat lintasan pengukuran	23

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Perhitungan nilai resistivitas semu menggunakan <i>Microsoft Excel</i>	39
Gambar 2. Format data input <i>Res2dinv</i>	40
Gambar 3. Data topografi di setiap ada perubahan ketinggian	41
Gambar 4. Input data pada <i>Perangkat lunak Res2dinv</i>	41
Gambar 5. <i>Pseudosection</i> data yang belum dilakukan penghilangan <i>bad datum</i> (atas) dan <i>pseudosection</i> setelah <i>exterminate bad datum</i>	42
Gambar 6. Penampang persebaran data pengukuran (atas), data perhitungan (tengah), dan hasil inversi (bawah)	43
Gambar 7. Penampang dengan <i>display</i> topografinya.....	43
Gambar 8. Data curah hujan daerah penelitian tahun 2015-2019 dari CHRS (<i>Center for Hydrometeorology & Remote Sensing</i>).....	44
Gambar 2.1 Peta geologi lembar Pacitan-Girintoro (Dimodifikasi dari Samodra dan Gafoer, 1990)	3
Gambar 2.2 Fisiografi bagian tengah dan timur Pulau Jawa (Bemmelen, 1949)	4
Gambar 2.3 Stratigrafi Barat Pegunungan Selatan dari beberapa peneliti (Surono, 1992)	5
Gambar 2.4 Kenampakan <i>cockpit</i> dan dolina memanjang di Karst Gunungsewu	9
Gambar 2.5 Arus dan ekuipotensial hasil injeksi (Reynolds, 2011)	10
Gambar 2.6 Arus dan ekuipotensial hasil injeksi (Reynolds, 2011)	11
Gambar 2.7 Konfigurasi <i>Wenner-Schlumberger</i> (Loke, 2014).....	12
Gambar 2.8 Rentang nilai resistivitas batuan (Loke, 2014).....	13
Gambar 2.9 Kenampakan 3D satuan geomorfologi daerah penelitian.....	15
Gambar 3.1 Peta desain akuisisi metode geolistrik resistivitas 2D	21
Gambar 3.2 <i>Overlay</i> Peta Desain Akuisisi Metode Geolistrik Resistivitas 2D dan Mikrotremor (Dimodifikasi dari Setiawan, 2020).....	22
Gambar 3.3 <i>Pseudosection</i> lintasan NWG-2 sebelum <i>bad datum</i> dihilangkan (atas) dan setelah <i>bad datum</i> dihilangkan (bawah)	24
Gambar 3.4 Hasil inversi data pengukuran lintasan NWG-2.....	25
Gambar 3.5 Hasil ilustrasi berdasarkan litologi penampang NWG-2.....	25
Gambar 4.1 Penampang hasil inversi lintasan NWG-1	27
Gambar 4.2 Penampang NWG-1 setelah diilustrasi berdasarkan litologi.....	28
Gambar 4.3 Penampang hasil inversi lintasan NWG-2	28
Gambar 4.4 Penampang NWG-2 setelah diilustrasi berdasarkan litologi.....	29
Gambar 4.5 Penampang hasil inversi lintasan NWG-3	29
Gambar 4.6 Penampang NWG-3 setelah diilustrasi berdasarkan litologi.....	29
Gambar 4.7 Penampang hasil inversi lintasan NWG-4	30
Gambar 4.8 Penampang NWG-4 setelah diilustrasi berdasarkan litologi.....	30
Gambar 4.9 Peta persebaran frekuensi dominan (Setiawan, 2020).....	32
Gambar 4.10 <i>Overlay</i> kontur persebaran frekuensi dominan dengan lintasan pengukuran geolistrik	32

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kawasan Karst Pacitan termasuk dalam *Tropical Karst* golongan *Kegelkarst*. Sela antar bukitnya membentuk cekungan/dolina tropis yang pembentukannya dikontrol oleh kekar atau sesar setempat sehingga membentuk pola kelurusan. Dolina memiliki ciri-ciri batuan/tanah dengan permeabilitas tinggi yang menyalurkan air ke dalam sistem drainase bawah permukaan serta adanya tanah penutup yang semakin tebal karena proses pelapukan (Adji dan Haryono, 2004). Karstifikasi atau proses pembentukan bentuk-lahan karst yang didominasi oleh pelarutan dan selalu diawali dengan terbentuknya dolina tunggal menjadi perhatian bagi banyak peneliti, salah satunya karena potensi perkembangan rongga bawah permukaan yang dapat menyebabkan ambles (*sinkhole*) (Ford dan Williams, 2007).

Salah satu penelitian yang pernah dilakukan di daerah Karst Pacitan yaitu untuk mendeteksi pola aliran sungai bawah permukaan sekitar Luweng Kuniran dan Kedung Banteng di Desa Sekar oleh (Naufaldi, 2017) menggunakan metode geolistrik resistivitas 2D Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dan *Dipole-Dipole*. Penelitian menggunakan metode geolistrik resistivitas berhasil menggambarkan keadaan bawah permukaan berdasarkan persebaran nilai resistivitas sehingga dapat diidentifikasi lapisan batuan dan anomali berupa rongga kosong maupun terisi air. Selain itu, terdapat beberapa penelitian di daerah karst lainnya menggunakan metode geolistrik resistivitas 2D seperti yang dilakukan oleh Kaufmann dkk. (2018) di utara Jerman untuk memetakan runtuhnya *sinkhole* dan penelitian Fadhli dkk. (2015) untuk menentukan lapisan penutup dan batuan dasar (batuan karbonat).

Bansah dan Anderson (2018) melakukan penelitian menggunakan metode geolistrik resistivitas untuk karakterisasi litologi bawah permukaan karst. Berdasarkan penelitiannya, disimpulkan bahwa meskipun daerah karst berada pada Formasi yang sama, persebaran nilai resistivitas bawah permukaan karst akan terlihat heterogen. Hal tersebut dapat terjadi karena sebagian besar resistivitas tanah dan batuan dasar yang rekah dikontrol oleh kadar air. Penelitiannya dilakukan di Tapah, Perak (Malaysia) dengan Konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* banyak digunakan untuk pemetaan bawah permukaan secara lateral dan vertikal karena memiliki resolusi dan cakupan horizontal yang lebih baik daripada Konfigurasi *Wenner*, serta resolusi vertikal yang lebih baik dari Konfigurasi *Dipole-Dipole* meskipun sedikit lebih dangkal (Loke, 2014).

Pemetaan di atas menjadi motivasi untuk dilakukannya studi/pemetaan bawah permukaan di daerah dolina untuk mengidentifikasi ketebalan sedimen sebagai indikator adanya proses pelarutan. Penelitian ini dilakukan di sekitar Luweng Dawung, Desa Sekar menggunakan metode geolistrik resistivitas

Konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Metode tersebut diharapkan dapat menunjukkan kontras resistivitas bawah permukaan sehingga dapat menggambarkan bagaimana sedimen di daerah penelitian yang juga dikuatkan oleh data pendukung berupa data penelitian menggunakan metode geofisika lainnya serta penelitian terdahulu.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang dikaji pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana jenis batuan di bawah permukaan sekitar Luweng Dawung berdasarkan nilai resistivitasnya?
2. Berapa ketebalan lapisan sedimen di setiap lintasan geolistrik berdasarkan nilai resistivitasnya?
3. Bagaimana korelasi ketebalan sedimen antar lintasan data resistivitas 2D di sekitar Luweng Dawung?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut ini merupakan tujuan dari penelitian yang dilakukan :

1. Mengidentifikasi jenis batuan di bawah permukaan sekitar Luweng Dawung berdasarkan nilai resistivitas.
2. Mengetahui ketebalan sedimen di sekitar Luweng Dawung berdasarkan nilai resistivitas.
3. Menganalisis korelasi ketebalan sedimen antar lintasan resistivitas 2D dan data pendukung di sekitar Luweng Dawung.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian berada di sekitar Luweng Dawung.
2. Pengolahan data menggunakan perangkat lunak Res2dinv (ver.3.56.22).
3. Inversi yang digunakan adalah inversi *Smoothness-Constrained Least-Square*.
4. Identifikasi ketebalan sedimen didasarkan pada sebaran nilai resistivitas.
5. Data pendukung yang digunakan adalah frekuensi dominan (f_0) dari data mikrotremor.

1.5 Manfaat Penelitian

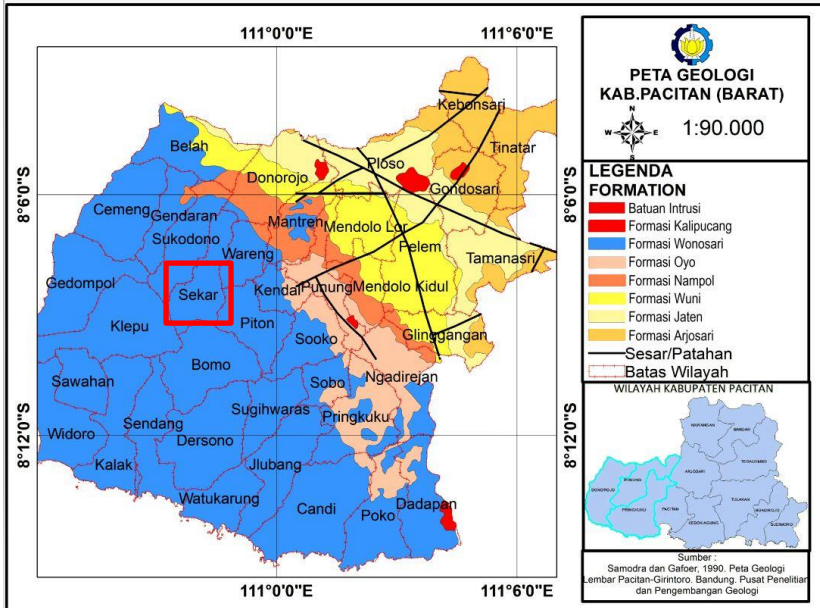
Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai ketebalan sedimen hingga batuan dasar sebagai rujukan untuk perencanaan pembangunan dan dilakukannya studi berkelanjutan di daerah karst Pacitan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Geologi Regional

Penelitian ini dilakukan di Desa Sekar, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Pacitan. Secara geologi, daerah Pacitan merupakan kawasan karst (kapur) yang masuk dalam kompleks Pegunungan Seribu atau Gunung Sewu (Lehmann, 1939). Pacitan terletak di koordinat $110^{\circ} 55' 111,25''$ BT dan $7^{\circ}55'8,17''$ LS dengan luas 138.987,16 Ha yang sebagian besar berupa perbukitan karst. Selain daerah pegunungan yang terletak pada ujung timur Gunung Sewu, Pacitan berada di sebelah selatan Pulau Jawa. Tanah di kawasan Gunung Sewu didominasi oleh endapan gamping bercampur koral dari masa miosen. Endapan tersebut mengalami pengangkatan pada masa holosen (lapisan geologi paling muda) (Ford dan Williams, 2007).



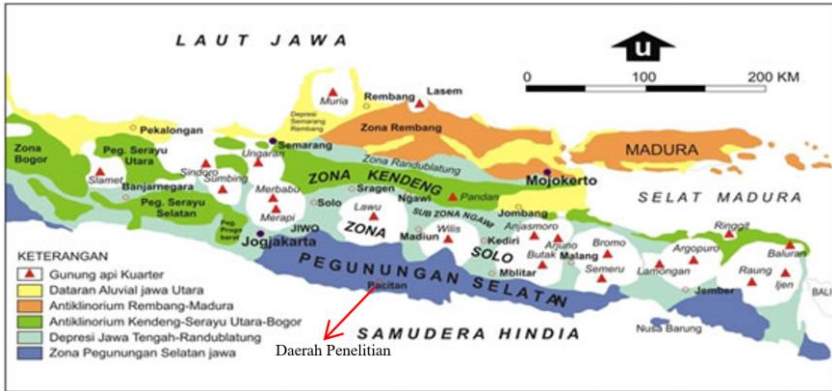
Gambar 2.1 Peta geologi lembar Pacitan-Girintoro (Dimodifikasi dari Samodra dan Gafoer, 1990)

Gambar 2.1 termasuk dalam Peta Geologi Regional Lembar Pacitan dan Surakarta-Girintoro yang memperlihatkan bahwa lokasi penelitian berada di Formasi Wonosari (kotak warna merah).

2.1.1.1 Fisiografi Regional

Secara umum Jawa Timur dibagi menjadi 4 (empat) zona jalur fisiografi, yaitu Zona Rembang di bagian utara, kemudian ke bagian selatan terdapat Zona

Kendeng, kemudian Zona Solo dan di bagian paling selatan adalah Zona Pegunungan Selatan (Bemmelen, 1949). Berdasarkan pembagian zona fisiografi Jawa Timur, daerah penelitian termasuk dalam Zona Pegunungan Selatan yang dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Fisiografi bagian tengah dan timur Pulau Jawa (Bemmelen, 1949 dengan modifikasi)

Pegunungan Selatan merupakan perbukitan yang terangkat dan miring ke arah selatan. Daerah ini merupakan daerah perbukitan berelief sedang hingga terjal yang terbentuk dari batuan beku dan vulkanik di bagian utara, dataran tinggi karst di bagian tengah, dan perbukitan kerucut karst di bagian selatan. Zona Pegunungan Selatan terbagi menjadi tiga subzona, yakni Subzona Baturagung, Subzona Wonosari dan Subzona Gunung Sewu. Subzona Baturagung terletak di sebelah barat dan utara, memiliki relief paling kasar dengan sudut lereng antara 10° - 30° dan beda tinggi sekitar 200-700 meter yang hampir keseluruhan tersusun oleh batuan yang berasal dari gunungapi. Subzona Wonosari merupakan dataran tinggi (± 190 m) yang terletak di bagian tengah Zona Pegunungan Selatan, yaitu di daerah Wonosari dan sekitarnya, berbatasan dengan Subzona Baturagung di sebelah barat dan utara dan berbatasan dengan Subzona Gunung Sewu di sebelah selatan dan timur. Aliran sungai utama di daerah subzona ini adalah Kali Oyo yang mengalir ke barat dan menyatu dengan Kali Opak. Endapan permukaannya berupa lempung hitam dan endapan danau purba, sedangkan batuan dasarnya adalah batugamping. Subzona Gunung Sewu merupakan perbukitan dengan bentang alam karst, yaitu bentang alam dengan bukit-bukit batugamping berumur miosen tengah yang membentuk banyak kerucut dengan ketinggian beberapa puluh meter. Di antara bukit - bukit ini banyak ditemukan telaga, luweng (*sink holes*) dengan kenampakan permukaan berupa dolina-dolina, dan di bawah permukaan terdapat gua yang tersusun oleh batugamping serta aliran sungai bawah tanah. Bagian utara Subzona Gunung

Sewu dibatasi oleh Cekungan Wonosari dan Baturetno yang tersusun atas material gamping, tetapi memiliki tingkat karstifikasi yang tidak intensif. Kedua cekungan ini memisahkan kawasan Karst Gunung Sewu dengan Pegunungan Baturagung (Haryono dkk., 2017). Daerah penelitian merupakan daerah Karst Pacitan termasuk dalam Subzona Gunung Sewu yang merupakan hasil dari pengangkatan dimulai pada Pleiosen Akhir.

2.1.1.2 Stratigrafi Regional

Stratigrafi daerah penelitian termasuk dalam Pegunungan Selatan. Susunan litostratigrafi Pegunungan Selatan menurut (Suroño dkk., 1992) dari tua ke muda sebagaimana tampak pada gambar 2.3 adalah Formasi Wungkal Gamping, Kebo Butak, Semilir, Nglanggran, Sambipitu, Oyo, Wonosari, dan Kepek.

KALA	ZONASI BLOW (1969)	PENELITI				
		BOTHE (1929)	VAN BEMMELEN (1949)	SUMARSO-ISMOYOWATI (1975)	SURONO, dkk. (1992)	
HOLOSEN	N.23			Endapan Vulkanik Muda dan Aluvium		
	N.22					
	N.21					
PLIOSEN	N.20					
	N.19					
	N.18					
MIOSEN	N.17					
	N.16					
	N.15	Kepek			Kepek	
	N.14		Wonosari			Wonosari
	N.13	Wonosari			Oyo	
	N.12		Sambipitu			
	N.11		Nglanggran			
	N.10		Semilir			
	N.9	Oyo	Kebo Butak			
	N.8					
	N.7			Semilir		
	N.6	Sambipitu			Sambipitu	
N.5						
N.4	Nglanggran			Nglanggran		
OLIGOSEN	N.3 (P.22)			Kebo Butak		
	N.2 (P.21)	Semilir				
	N.1 (P.20)	Kebo Butak				
	P.19					
Eosen	P.18					
	P.16					
	P.15	Wungkal Gamping		Gamping		
	P.14					
P.13			Wungkal	Wungkal Gamping		

Gambar 2.3 Stratigrafi Barat Pegunungan Selatan dari beberapa peneliti (Suroño dkk, 1992 dengan modifikasi)

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa Pegunungan Selatan memiliki umur batuan yang berkisar dari Eosen Tengah hingga Miosen Akhir. Daerah penelitian termasuk kedalam Formasi Wonosari. Satuan batuanya adalah endapan karbonat paparan (*carbonate platform*). Seperti yang ditampilkan pada kotak berwarna merah, formasi ini memiliki *range* umur Miosen Tengah hingga

Miosen Akhir. Formasi ini oleh (Surono dkk., 1992) dijadikan satu dengan Formasi Punung yang terletak di Pegunungan Selatan bagian timur karena di lapangan keduanya sulit untuk dipisahkan, sehingga namanya Formasi Wonosari-Punung. Ketebalan formasi ini diduga lebih dari 800 meter. Kedudukan stratigrafinya di bagian bawah menjemari dengan Formasi Oyo, sedangkan di bagian atas menjemari dengan Formasi Kepek. Berdasarkan peta geologi regional Pacitan oleh (Samodra dan Gafoer, 1992), Formasi ini terdiri dari batuan karbonat yang terdiri dari batugamping terumbu, batugamping berlapis, dan batugamping pasir. Sedangkan sebagai sisipan adalah napal. Sisipan tuf hanya terdapat di bagian timur. Lingkungan pengendapannya adalah laut dangkal (zona neritik) yang mendangkal ke arah selatan. (Surono dkk., 1992).

2.1.1.3 Sejarah Geologi Regional

Pada akhir Miosen Awal atau permulaan Miosen Tengah cekungan pengendapan Pegunungan Selatan mengalami pengangkatan dan berubah menjadi lebih dangkal. Pengendapan batuan Formasi Oyo terjadi setelah adanya proses genang laut akibat perubahan muka laut. Kegiatan tektonik mempengaruhi sedimentasi karbonat di lingkungan laut dangkal. Beragam jenis batuan klastik dan tuf masuk ke dalam cekungan dan menghasilkan Formasi Oyo yang bersifat klastik.

Terbentuk terumbu-terumbu koral Formasi Wonosari di dasar paparan yang berbatasan dengan daratan yang mulai stabil. Batugamping terumbu paparan Formasi Wonosari mengalami pertumbuhan dan perkembangan karena keadaan tektonik yang stabil hingga permulaan Miosen Akhir. Pergerakan tektonik yang aktif menghasilkan sesar-sesar turun menciptakan bentuk *horst* dan *graben* pada Miosen Akhir.

Daerah tinggian mengalami pengikisan dan batuan rombakan yang dihasilkan terendapkan pada cekungan sehingga cekungan semakin dangkal. Formasi Kepek terbentuk berumur Miosen Akhir-Pliosen Awal. Cekungan terangkat ke permukaan laut pada Pliosen, dibuktikan dengan tidak ditemukan endapan yang berlingkungan laut. Karstifikasi terjadi setelah seluruh Kawasan Gunung Sewu terangkat ke permukaan laut.

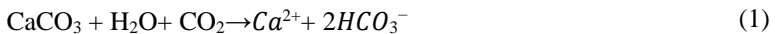
Kekar dan sesar tercipta saat proses pengangkatan. Kekar dan sesar merupakan bidang-bidang lemah yang mudah mengalami pengikisan dan pelarutan. Air permukaan yang mengalir di sepanjang struktur geologi mengubah sungai menjadi lebih dalam dan lebar. Beberapa gua tersingkap di beberapa bagian lereng lembah dan mempunyai elevasi yang hampir sama menunjukkan adanya perpotongan sistem gua bawah permukaan oleh sesar. Gua-gua yang pernah aktif sebelum terjadinya pengangkatan mempunyai arah barat-timur (Samodra, 2003).

2.1.1.4 Karst

Karst merupakan istilah dalam bahasa Jerman yang diturunkan dari Bahasa Slovenia (kras) yang berarti lahan gersang berbatu. Karst sebagai medan dengan kondisi hidrologi yang khas sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik (Ford dan Williams, 2007). Karst tidak hanya terjadi di daerah berbatuan karbonat, tetapi terjadi juga di batuan lain yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder (kekar dan sesar intensif), seperti batuan gipsum dan batugaram. Namun demikian, karena batuan karbonat mempunyai sebaran yang paling luas, karst yang banyak dijumpai adalah karst yang berkembang di batuan karbonat.

Kawasan karst dicirikan dengan bentuk-bentuk morfologi baik yang di permukaan (*eksokars*) maupun yang berada dibawah permukaan bumi (*endokars*). Gejala *eksokars* antara lain diwujudkan dalam bentuk bukit-bukit tunggal lekuk-lekuk lembah (dolina, polje, dan uvala), mata air, serta menghilangnya sungai permukaan ke dalam tanah melalui mulut gua yang ada. Gejala *endokars* dicirikan dengan aliran sungai bawah permukaan yang disebabkan oleh proses pelarutan.

Karstifikasi atau proses pembentukan bentuk-lahan karst didominasi oleh proses pelarutan. Proses pelarutan batuan karbonat oleh air hujan dan jatuh ke permukaan terjadi banyak proses fisik dan kimia yang melibatkan unsur gas, cair dan padatan yang menyebabkan perpindahan massa antara udara, air, dan batuan. Dan tahapan proses pelarutan adalah sebagai berikut: Ketika terjadi hujan, gas karbondioksida (CO_2) di atmosfer masuk ke dalam air melalui proses difusi, kemudian air yang mengandung CO_2 bersenyawa membentuk asam karbonat (*carbonic acid*) dengan reaksi kimia CO_2 (di air) + $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$, dan dapat dikatakan bahwa gas karbondioksida larut dalam air. Karena H_2CO_3 merupakan asam kuat, maka dapat mengalami *dissociation* (perpecahan) yaitu yang pertama $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ dan yang kedua adalah $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+$ dengan proporsi yang kecil dibawah pH 8,4 sehingga dapat diabaikan. Ketika air dan batuan karbonat berinteraksi, terjadi pelepasan ion dan kemudian terjadi reaksi pelarutan karbonat $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3$. Selanjutnya, CO_3^- bergabung dengan ion H^+ yang lepas pada reaksi (3) sehingga $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HCO}_3^-$. Sehingga secara ringkas proses pelarutan dirumuskan seperti berikut:



Karstifikasi dipengaruhi oleh dua kelompok faktor, faktor pengontrol dan faktor pendorong. Faktor pengontrol menentukan dapat tidaknya proses karstifikasi berlangsung, sedangkan faktor pendorong menentukan kecepatan dan kesempurnaan proses karstifikasi. Faktor pengontrol antara lain batuan mudah larut, kompak, tebal, dan mempunyai banyak rekahan, curah hujan yang cukup (>250 mm/tahun) dan batuan terekspos di ketinggian yang memungkinkan

perkembangan sirkulasi air/drainase secara vertikal. Sedangkan faktor pendorongnya antara lain temperatur dan penutupan hutan.

Menurut Kalsifikasi Sweeting (1972) dalam (Adji dan Haryono, 2004), karst diklasifikasikan menjadi *true karst*, *fluviokarst*, *glasiokarst*, dan *tropical karst*. *True karst* merupakan karst yang mengalami perkembangan sempurna sehingga memiliki dolina yang disebabkan pelarutan secara vertikal, contohnya Karst *Dinaric*. *Fluviokarst* terjadi di daerah batugamping yang dilalui oleh sungai berhilir di daerah non-karst. Permukaan di daerah *fluviokarst* umumnya tertutup oleh tanah yang terbentuk oleh erosi dan sedimentasi proses fluvial. *Glasiokarst* merupakan karst yang terbentuk karena proses karstifikasi yang didominasi oleh proses glasial di daerah berbatuan gamping. *Tropical karst* berada di daerah yang beriklim tropis yang memiliki proses presipitasi besar dan menghasilkan aliran permukaan sesaat, sedangkan evaporasi yang terjadi menghasilkan rekristalisasi larutan karbonan membentuk lapisan keras di permukaan. Hal ini menyebabkan dolina di karst beriklim tropis berbentuk bintang yang tidak beraturan yang biasa disebut *cockpit*.

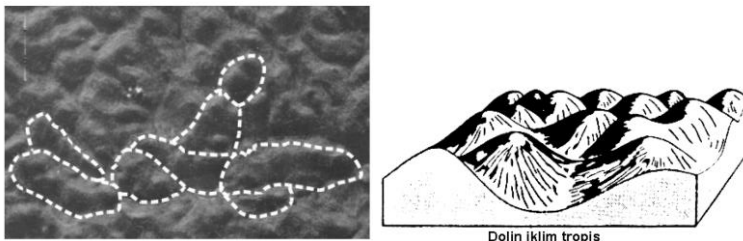
Karst beriklim tropis dibagi menjadi dua kelompok, *kegelkarst* dan *turmkarst*. *Kegelkarst* memiliki kumpulan bukit berbentuk kerucut yang saling menyambung dengan cekungan berbentuk bintang (*cockpit*). *Turmkarst* memiliki bukit-bukit dengan lereng terjal yang dipisahkan dengan sungai atau dataran aluvial. Beberapa ahli beranggapan jika *turmkarst* merupakan perkembangan dari *kegelkarst*. Kawasan Karst Pacitan termasuk dalam *Tropical Karst* golongan *kegelkarst* yang dicirikan dengan adanya bukit-bukit berbentuk kerucut yang sambung menyambung. Sela antar bukit membentuk cekungan/dolina tropis yang pembentukannya dikontrol oleh kekar atau sesar sehingga membentuk pola kelurusan (Adji dan Haryono, 2004).

2.1.1.5 Dolina

Dolina merupakan cekungan tertutup berbentuk bulat atau lonjong dengan ukuran beberapa meter hingga lebih kurang satu kilometer (Ford dan Williams, 2007). Karstifikasi selalu diawali dengan terbentuknya dolina tunggal sebagai akibat dari proses pelarutan terkonsentrasi. Tempat terkonsentrasi merupakan daerah kekar, daerah yang tersusun atas mineral mudah larut, perpotongan kekar, dan bidang perlapisan batuan miring. Seiring berjalannya waktu, dolina-dolina tunggal akan berkembang dan dapat saling menyatu. Menurut White (1988), dolina tersusun atas tiga komponen; saluran dengan permeabilitas tinggi yang menyalurkan air di dolina ke sistem drainase bawah tanah, Pelarutan yang terjadi di permukaan dan dekat permukaan batuan, dan tanah penutup berupa material lepas.

Di Amerika Serikat, dolina dikenal sebagai *sinkhole* dan umumnya terisi oleh lapisan tanah. Oleh sebab itu, kebanyakan dolina dimanfaatkan penduduk sebagai lahan perkebunan (Kuswanto, 2005). Dolina yang berada di daerah beriklim tropis cenderung memiliki bentuk lonjong. Salah satu bentuk dolina di

daerah tropis menyerupai bintang disebut dengan *cockpit*. Dolina memanjang terbentuk apabila dolina dikontrol oleh adanya kelurusan oleh sesar dan kekar seperti yang ditemukan di Kawasan Karst Gunung Sewu seperti yang terlihat pada gambar 2.4. Banyaknya dolina memanjang di Karst Gunung Sewu disebabkan oleh lereng regionalnya miring ke arah selatan, adanya kekar dan sesar yang aktif bergerak, dan adanya proses fluvial (Adji and Haryono, 2004).



Gambar 2. 4 Kenampakan *cockpit* dan dolina memanjang di Karst Gunungsewu (kiri) dan kenampakan dolina di daerah beriklim tropis (kanan) (Adji dan Haryono, 2004)

2.1.2 Metode Geolistrik Resistivitas

2.1.2.1 Teori Dasar

Geolistrik merupakan salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi. Metode geolistrik digunakan untuk memperkirakan sifat kelistrikan pada formasi batuan di bawah permukaan. Prinsip pengukuran metode geolistrik yang dilakukan secara aktif, yaitu dengan cara menginjeksikan arus listrik ke permukaan tanah melalui sepasang elektroda dan mengukur beda potensial dengan sepasang elektroda yang lain. Jika nilai beda potensial telah didapat maka nilai hambatan dari medium (tanah) tersebut dapat diketahui (Kneisel, 2006).

Prinsip pelaksanaan survei resistivitas adalah mengalirkan arus listrik searah ke dalam bumi melalui dua telektroda arus yang ditancapkan pada dua titik permukaan tanah dan kemudian mengukur respon beda potensial yang terjadi antara dua titik yang lain di permukaan bumi dimana dua elektroda potensial ditempatkan dalam suatu susunan tertentu. Data pengukuran yang didapat yakni beda potensial dan kuat arus, dan akan diperoleh harga resistivitas semu untuk setiap spasi elektroda yang dibentangkan.

Berdasarkan hukum Ohm, besar beda potensial suatu benda bergantung pada nilai kuat arus I dan hambatan listrik R dengan persamaan:

$$V=I.R \tag{2}$$

Pengukuran Resistivitas batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti homogenitas batuan, kandungan air, porositas, permeabilitas dan kandungan mineral. Resistivitas (Tahanan Jenis) merupakan suatu besaran yang menunjukkan

tingkat hambatan terhadap arus listrik dari suatu bahan, yang diberi simbol ρ . Hambatan listrik R suatu bahan berbanding lurus dengan panjang penghantar L berbanding terbalik dengan luas penampang A (Reynolds, 2011).

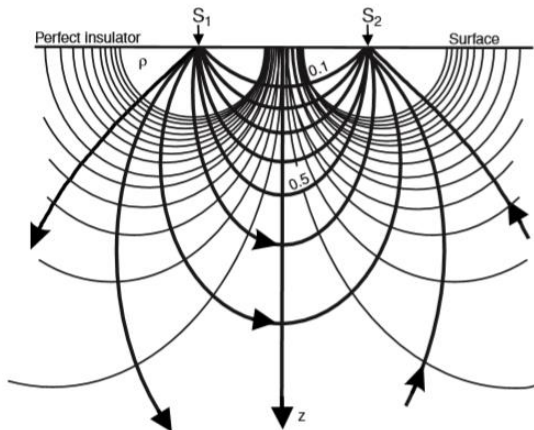
Harga tahanan jenis batuan diperoleh dari persamaan berikut:

$$\rho = R \frac{A}{L} \tag{3}$$

Dari persamaan (2) dan persamaan (3) maka didapatkan persamaan baru menjadi

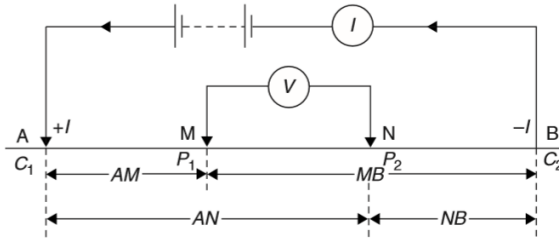
$$\rho = \frac{VA}{IL} \tag{4}$$

Lapisan bawah permukaan bumi diasumsikan homogen isotropis sehingga arus membentuk bidang ekuipotensial berbentuk setengah bola (Telford, 1992). Apabila arus diinjeksi melalui dua titik akan menghasilkan distribusi potensial seperti yang ditunjukkan Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.5 Arus dan ekuipotensial hasil injeksi (Reynolds, 2011)

Pengukuran yang dilakukan di lapangan digunakan dua elektroda yang berfungsi untuk mengalirkan arus (C1 dan C2) dan beda potensialnya diukur antara dua titik dengan menggunakan dua elektroda potensial (P1 dan P2). Dari Gambar 2.4 diperoleh persamaan untuk elektroda arus ganda (dua titik) pada permukaan medium. Potensial di titik P1 dan P2 adalah



Gambar 2. 6 Arus dan ekuipotensial hasil injeksi (Reynolds, 2011)

$$\begin{aligned}
 V_{P_1} &= \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \\
 V_{P_2} &= \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right)
 \end{aligned} \tag{5}$$

sehingga beda potensialnya adalah

$$\begin{aligned}
 \Delta V &= V_{P_1} - V_{P_2} \\
 \Delta V &= \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)
 \end{aligned} \tag{6}$$

atau dapat ditulis menjadi

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \tag{7}$$

Sementara itu harga K ditunjukkan dalam persamaan sebagai berikut:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \tag{8}$$

(Reynolds, 2011)

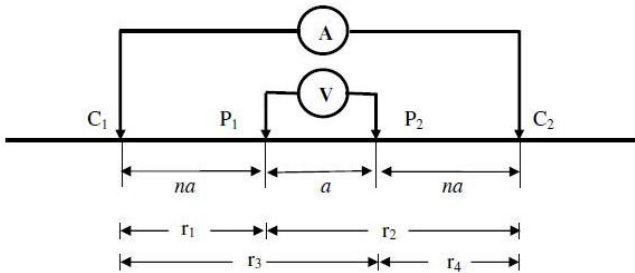
K adalah nilai besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus dan juga disebut faktor geometri.

2.1.2.2 Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* merupakan salah satu konfigurasi dalam geolistrik resistivitas. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* adalah salah satu konfigurasi paling umum digunakan untuk survei resistivitas 2D. Kedalaman rata-rata pada konfigurasi ini 10% lebih besar dari konfigurasi *Wenner*. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* juga memiliki cakupan horizontal lebih lebar dari Konfigurasi *Wenner* dan resolusi yang lebih baik daripada *Dipole-Dipole* (Loke, 2014). Konfigurasi *Schlumberger* memiliki kelebihan pada target kedalaman yang dapat dicapai cukup tinggi jika dibandingkan konfigurasi lainnya dengan resolusi data lebih baik daripada *Dipole-Dipole*,

tetapi hanya memetakan bawah permukaan secara vertikal. Sedangkan Konfigurasi *Wenner* baik dalam memetakan secara lateral. Dengan demikian Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* saling melengkapi kelemahan masing-masing konfigurasi (Telford, 1992).

Pada Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dalam memperoleh kedalaman yang lebih maka jarak antara elektroda P1-P2 ditingkatkan menjadi $2a$ dan pengukuran diulangi untuk n yang sama sampai pada elektroda terakhir, kemudian jarak antara elektroda P1-P2 ditingkatkan menjadi $3a$, dan seterusnya. Konfigurasi ini tidak terlalu sensitif terhadap perubahan horizontal oleh sebab itu baik digunakan untuk survei kedalaman.



Gambar 2.7 Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* (Loke, 2014)

Gambar 2.6 menggambarkan susunan elektroda Konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Konfigurasi ini memiliki aturan jarak spasi yang tetap dengan faktor- n . Jika jarak elektroda potensial P1 dan P2 adalah a maka jarak antar elektroda arus C1 dan C2 adalah $2na+a$. Dari persamaan (8) dapat diperoleh nilai dari K yaitu :

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{na} - \frac{1}{a+na}\right) - \left(\frac{1}{a+na} - \frac{1}{na}\right)\right]} \quad (9)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{na} - \frac{1}{a+na} - \frac{1}{a+na} + \frac{1}{na}\right)} \quad (10)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{na} + \frac{1}{na}\right) - \left(\frac{1}{a+na} + \frac{1}{a+na}\right)\right]} \quad (11)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{2(a+na)-na}{na(a+na)}\right)} \quad (12)$$

$$K = \frac{\pi}{\left(\frac{(a+na)-na}{na(a+na)}\right)} \quad (13)$$

$$K = \frac{\pi a^2 n + \pi a^2 n^2}{a} \quad (14)$$

$$K = \pi a n + \pi a n^2 \quad (15)$$

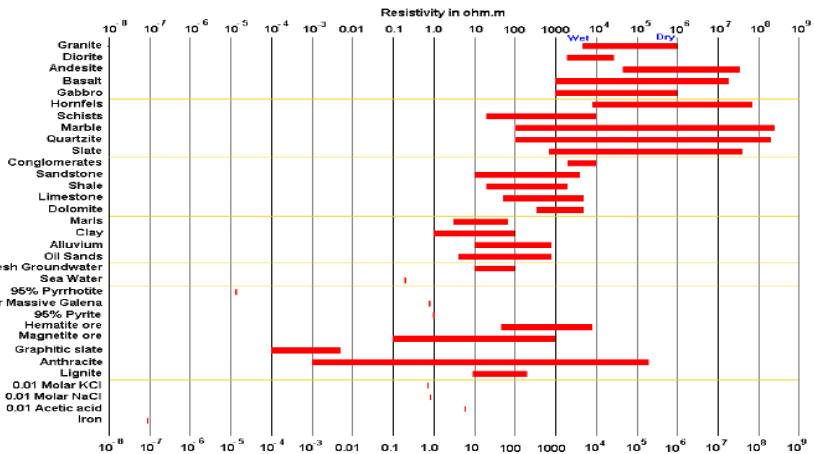
$$K = \pi a n(n + 1) \quad (16)$$

Sehingga persamaan faktor geometri Konfigurasi Wenner-Schlumberger yaitu

$$K = \pi an(n + 1) \tag{17}$$

2.1.2.3 Resistivitas Batuan

Batuan memiliki kemampuan untuk menghantarkan atau menahan arus listrik dan memiliki sifat kelistrikan yang berbeda-beda tergantung dari material penyusun batuan tersebut. Sifat tersebut dapat dilihat dari nilai konduktivitas atau resistivitasnya karena kedua nilai tersebut konstan. Pada Gambar 2.6 ditunjukkan rentang nilai resistivitas berdasarkan jenis batuan.



Gambar 2.8 Rentang nilai resistivitas batuan (Loke, 2014)

2.1.2.4 Teori Inversi Smoothness-Constrained Least-Square

Semua metode inversi pada dasarnya dilakukan untuk membuat model bawah permukaan yang mendekati data pengukuran dengan batasan tertentu dan yang dapat diterima. Model tersebut merupakan representasi matematis yang ideal dari bagian bumi. Model ini memiliki parameter model yang merupakan kuantitas fisik yang diperkirakan dari data pengukuran. Respon model merupakan data sintetik yang dapat dihitung dari hubungan matematis yang mendefinisikan model untuk parameter model tertentu. Di dalam proses inversi, dilakukan analisis data lapangan dengan melakukan pencocokan kurva antara model matematika (data perhitungan) dan data pengukuran untuk mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya (Loke, 2014).

Perangkat lunak Res2dinv menggunakan metode berulang (iteratif) yang dimulai dari model awal, *perangkat lunak* mencoba untuk menemukan model yang terus ditingkatkan seiring dengan dilakukannya iterasi hingga mencapai nilai resistivitas sebenarnya yang hasil perhitungannya lebih dekat dengan data

hasil pengukuran. Salah satu metode inversi berulang yang terkenal adalah Metode *Smoothness-Constrained* (DeGroot-Hedlin and Onstable, 1990). Metode ini merupakan inversi standar dalam *Perangkat lunak Res2din* yang memiliki bentuk matematika sebagai berikut.

$$(J^T J + uF)d = J^T g - uFr \quad (18)$$

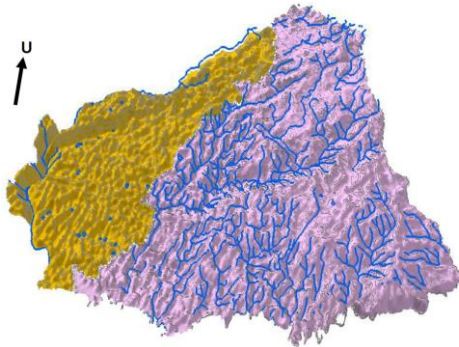
Dimana F merupakan fungsi/matriks *smoothing*, J merupakan matriks *Jacobian* turunan parsial, r merupakan vektor yang memuat logaritma dari model nilai resistivitas, u merupakan faktor peredaman, d merupakan vektor perturbasi model, dan g merupakan *discrepancy vector*. *Discrepancy vector*, g , berisi perbedaan antara nilai resistivitas semu yang dihitung dan diukur. Besarnya vektor ini sering disajikan berupa RMS (*root-mean-squared*). RMS merupakan suatu nilai yang ingin dikurangi dengan metode inversi dalam upaya untuk mendapatkan model yang lebih baik setiap iterasi. Vektor perturbasi model, d , adalah perubahan nilai resistivitas model yang dihitung menggunakan persamaan di atas dan menghasilkan model yang lebih baik. Persamaan di atas mencoba untuk meminimalkan perbedaan nilai resistivitas semu hasil perhitungan dan hasil pengukuran. Faktor redaman, u , mengontrol bobot yang diberikan pada *model smoothness* dalam proses inversi. Semakin besar nilai faktor redaman, semakin halus model yang didapatkan, tetapi kesalahan RMS resistivitas semu dapat menjadi semakin besar (Loke, 1999).

Semua data disajikan dengan bobot yang sama. Di beberapa kasus, untuk data yang memiliki banyak *noise* dengan jumlah *bad datum* sedikit dengan nilai resistivitas semu sangat tinggi atau rendah, efek dari datum tersebut pada hasil inversi dapat dikurangi menggunakan matriks pembobotan data.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian (Aliyan, 2018) membagi wilayah penelitian di daerah Pringkuku sekitarnya menjadi dua bagian berdasarkan satuan geomorfologinya, yaitu satuan geomorfologi perbukitan gamping struktural yang tersebar di bagian timur daerah penelitian dan perbukitan gamping kerucut yang tersebar di bagian barat daerah penelitian. Sungai di perbukitan gamping kerucut diperkirakan memiliki arah yang sama dengan sungai di perbukitan gamping struktural, yaitu timur laut-barat daya dan barat-timur. Litologi penyusun satuannya didominasi oleh batuan karbonat terumbu. Pada perbukitan gamping kerucut memiliki pola pengaliran multibasinal karena daerah tersebut dapat mengalami karstifikasi. Sedangkan sungai di perbukitan gamping struktural memiliki pola pengaliran rectangular yang dikontrol oleh struktur berupa sesar geser di Kali Klandan dan Barong berarah timur laut-barat daya serta Ngadirejan berarah barat laut-tenggara. Litologi penyusunnya adalah batuan karbonat terumbu dan batugamping klastik. Pada gambar 2.10 ditunjukkan kenampakan satuan

geomorfologi daerah penelitian (Aliyan, 2018) dan pada tabel 2.1 ditunjukkan pula karakteristik satuan geomorfologinya.



Gambar 2. 9 Kenampakan 3D satuan geomorfologi daerah penelitian (Aliyan, 2018)

Tabel 2. 1 Karakteristik satuan geomorfologi daerah penelitian (Aliyan, 2018)

Satuan Geomorfologi	Simbol Warna	Morfografi			Morfometri		Morfogenetik			
		Bentuk Laban	Pola Pengaliran	Bentuk Lembah	Kemiringan Lereng		Kelas Lereng	Proses		Material Penyusun
					(°)	(%)		Endogen	Eksogen	
Perbukitan Gamping Struktural		perbukitan	rektangular	U tajam	0 - 45	0 - 100	landai – agak curam	struktural	pelapukan, erosi	batugamping klastik, batugamping terumbu
Perbukitan Gamping Kerucut		perbukitan	multibasinal	V	0 - 45	0 - 100	agak curam - curam	karstifikasi, struktural	pelapukan, erosi	batugamping terumbu

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Naufaldi (2017) untuk memetakan pola aliran sungai bawah permukaan di daerah Luweng Kuniran dan Kedung Banteng Desa Sekar, Pacitan menggunakan metode resistivitas 2D Konfigurasi *Dipole-Dipole* dan *Wenner-Schlumberger*. Hasil interpretasinya adalah nilai resistivitas rendah (0-20 Ω m) merupakan *top soil*, lebih dari 20 Ω m dan kurang dari 90 Ω m merupakan batugamping terumbu, dan nilai resistivitas lebih dari 90 Ω m merupakan batugamping pejal. Untuk anomali yang diduga sebagai rongga berisi air atau sungai bawah permukaan memiliki nilai resistivitas 0-20 Ω m pada kedalaman batugamping berada. Nilai resistivitas hasil penelitian (Naufaldi, 2017 dan Andriyani dkk., 2010) tersaji dalam tabel 2.1. Goa penuh terisi air memiliki nilai resistivitas kecil dan biasanya terdapat di antara batuan karbonat. Target pada penelitian ini adalah ketebalan sedimen sebagai indikasi adanya pelarutan secara intensif. Ketebalan sedimen yang dimaksud merupakan lapisan lunak yang berasal dari pelarutan batuan di sekitar dolina dan terendapkan di area dolina maupun pelarutan batuan dasar itu sendiri yang disebabkan oleh adanya air yang menembus melalui celah batuan/rekahan secara terus-menerus. Dalam metode geolistrik, lapisan sedimen yang dimaksudkan adalah lapisan yang memiliki nilai resistivitas cenderung rendah dan berada di bagian paling atas.

Sedangkan batuan dasar yang dimaksud adalah lapisan batuan yang memiliki nilai resistivitas lebih besar dan kontrasnya terlihat cukup jauh dengan lapisan sedimen.

Tabel 2. 2 Rentang nilai resistivitas batuan berdasarkan (Kuswanto, 2005; Andriyani dkk., 2010; Naufaldi, 2017)

Litologi	Resistivitas (Ohm.meter)
Top soil/sedimen	0 – 20
Batuan Karbonat Terumbu (Fm. Wonosari)	20 – 250
Batuan Karbonat Masif (Fm. Oyo)	>250
Gua Penuh Air	0 – 20
Gua Setengah Kosong	50 – 100
Gua Kosong	>1000

Penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan (2018) menggunakan Metode *Vertical Electrical Sounding (VES)* untuk interpretasi litologi bawah permukaan karst di Desa Sekar, Pacitan. Lapisan *top soil* paling tebal sekitar 2 meters dengan nilai resistivitas antara 7-14 Ω m dan lapisan setelahnya merupakan batugamping dengan nilai resistivitas lebih dari 50 Ω m. Nilai resistivitas cenderung menurun dari arah utara ke selatan karena di daerah selatan pada permukaanya dominan sedimen (berupa ladang).

Penelitian Hardyani (2018) menggunakan Metode *Vertical Electrical Sounding (VES)* untuk mengetahui perkembangan sungai bawah permukaan di daerah Dersono, Pringkuku, Pacitan. Pada bagian permukaan hingga kedalaman 15 meter didominasi lapisan dengan nilai resistivitas kurang dari 250 Ω m, terdiri dari lapisan *top soil* rata-rata dengan ketebalan 0,4 meter yang diduga berasal dari endapan hasil pelapukan, lapisan selanjutnya merupakan lapisan batugamping terumbu yang memiliki rekahan-rekahan, dan pada kedalaman yang semakin meningkat diduga terdapat lapisan batuan karbonat pejal.

Penelitian yang dilakukan oleh Nurfitriana (2018) untuk mengidentifikasi keberadaan sungai bawah permukaan Kawasan Dersono, Pringkuku, Pacitan menggunakan metode resistivitas 2D Konfigurasi Wenner-Schlumberger. Hasil interpretasi litologinya adalah lapisan pertama merupakan *top soil* rata-rata kedalaman 0-8 meter dengan nilai resistivitas 1,78-20 Ω m, lapisan karbonat terumbu dengan nilai resistivitas 20-200 Ω m, dan lapisan karbonat masif dengan nilai resistivitas lebih dari 200 Ω m.

Penelitian (Lestari et dkk., 2017) menggunakan metode resistivitas untuk menentukan endapan piroklastik di sekitar Gunung Bromo. Penampang menunjukkan lapisan atas memiliki nilai resistivitas rendah karena terdapat pasir yang menutup bagian atas. Pasir berpori menyimpan air sehingga menghasilkan nilai resistivitas lebih rendah. Selain itu, pengukuran dilakukan di pagi hari yang menyebabkan kondisi pasir memiliki kandungan air lebih besar berasal dari embun.

Penelitian yang dilakukan oleh Fadhli dkk. (2015) di daerah Tapah, Perak (Malaysia) bertujuan untuk memetakan bawah permukaan daerah karst (karbonat) karena keberadaan fitur bawah permukaan karst seperti rongga dan *sinkhole* dapat terjadi akibat adanya interaksi antara batuan karbonat dengan air. Penelitian ini menggunakan metode resistivitas karena metode tersebut terbukti berguna untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan. Hasil inversinya menunjukkan bahwa di bawah permukaan daerah penelitian terdiri dari dua lapisan utama. Lapisan yang pertama dengan nilai resistivitas $<250 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai *alluvium*. Lapisan kedua dengan nilai resistivitas $>350 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai lapisan keras (karbonat). Sehingga mendapatkan kesimpulan bahwa pada lapisan keras dengan nilai resistivitas $>350 \Omega\text{m}$ dapat dibangun pondasi. Perbedaan *range* nilai resistivitas batuan karbonat pada setiap lintasan tergantung pada konduktivitas dan densitas dari batuan yang dipengaruhi oleh proses pelarutan. Metode geofisika seharusnya diintegrasikan dengan metode lainnya untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, seperti korelasi dengan metode geofisika lainnya atau korelasi dengan metode geoteknik. Pada penelitian ini menggunakan metode SPT (bor) sebagai data pendukung.

Penelitian yang dilakukan oleh Bansah dan Anderson (2018) menggunakan metode resistivitas 2D yang didukung dengan data MASW bertujuan untuk memetakan kedalaman batuan dasar dan untuk mengkarakterisasi litologi bawah permukaan. Resistivitas tanah dan batuan dasar yang rekah diamati sebagian besar dikontrol oleh kadar air. Berdasarkan kadar airnya, tanah dan batuan diklasifikasikan menjadi tanah basah ($<50 \Omega\text{m}$), tanah kering ($125 \Omega\text{m}$), batuan basah ($\geq 125 \Omega\text{m}$), dan batuan kering ($\leq 1500 \Omega\text{m}$). Keberadaan lempung di batuan dasar yang rekah mempengaruhi resistivitas dari batuan basah karena lempung bersifat konduktif.

Penelitian yang pernah dilakukan di Kawasan Karst Pacitan tidak hanya menggunakan metode geolistrik, melainkan juga menggunakan metode mikrotremor seperti yang dilakukan oleh Chemistra (2018) untuk meneliti sistem sungai Kedung Banteng. Menurut Chemistra (2018), perlu dilakukan karakterisasi terlebih dahulu daerah yang terdapat sungai di permukaan untuk melihat respon nilai frekuensi dominan (f_0), *particle motion*, maupun *Time Frequency Analysis (TFA)* di daerah yang dilewati sungai maupun tidak dilewati sungai sehingga dapat menentukan parameter identifikasi sungai bawah permukaan berdasarkan karakter di atas permukaan. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa zona dengan karakter nilai frekuensi dominan (f_0) bernilai rendah terletak di pinggir jalan dan pinggir sungai, sedangkan nilai frekuensi dominan (f_0) tinggi terletak di bukit yang tepat di atas luweng dan rongga yang dialiri air. Di pinggir sungai terdapat sedimen lebih tebal disebabkan oleh pelapukan batuan di daerah tersebut, yaitu batugamping, dan juga adanya sedimentasi yang dipengaruhi oleh aliran sungai. HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) merupakan metode yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi kedalaman batuan dasar. Parameter yang digunakan adalah frekuensi natural dan

amplifikasi. Nilai frekuensi yang sering muncul akan diakui sebagai nilai frekuensi dominan dari suatu lapisan yang menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut (Nakamura, 1989 dalam Koesuma dkk., 2018). Tabel 2.2 menunjukkan klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai. Untuk menghitung ketebalan sedimen, digunakan persamaan di bawah ini:

$$H = \frac{V_s}{4f_0} \quad (18)$$

Dimana V_s adalah kecepatan gelombang geser, f_0 adalah frekuensi dominan, dan H adalah ketebalan sedimen.

Tabel 2. 3 Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai (Koesuma dkk., 2018)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Tanah Kanai	Deskripsi Tanah
Tipe	Jenis			
I	IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta. <i>Top soil</i> , lumpur kedalaman 30 m atau lebih	Ketebalan permukaan sedimen sangat tebal
III	III	2,5-4	Batuan alluvial dengan ketebalan sedimen > 5 m. terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i>	Ketebalan permukaan sedimen masuk dalam kategori tebal, sekitar 10-30 m
IV	II	4-10	Batuan alluvial dengan ketebalan 5 m terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i>	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori menengah, 5-10 m
	I	6,667-20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy</i> , <i>gravel</i>	Ketebalan permukaan sedimen tipis didominasi batuan keras

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian berada di sekitar Luweng Dawung, Desa Sekar, Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur, Indonesia. Survei pendahuluan dilakukan mulai tanggal 14 sampai 17 Juni 2019 dan pengambilan data mulai tanggal 6 sampai 9 Agustus 2019.

3.2 Peralatan Penelitian

3.2.1 Peralatan Akuisisi

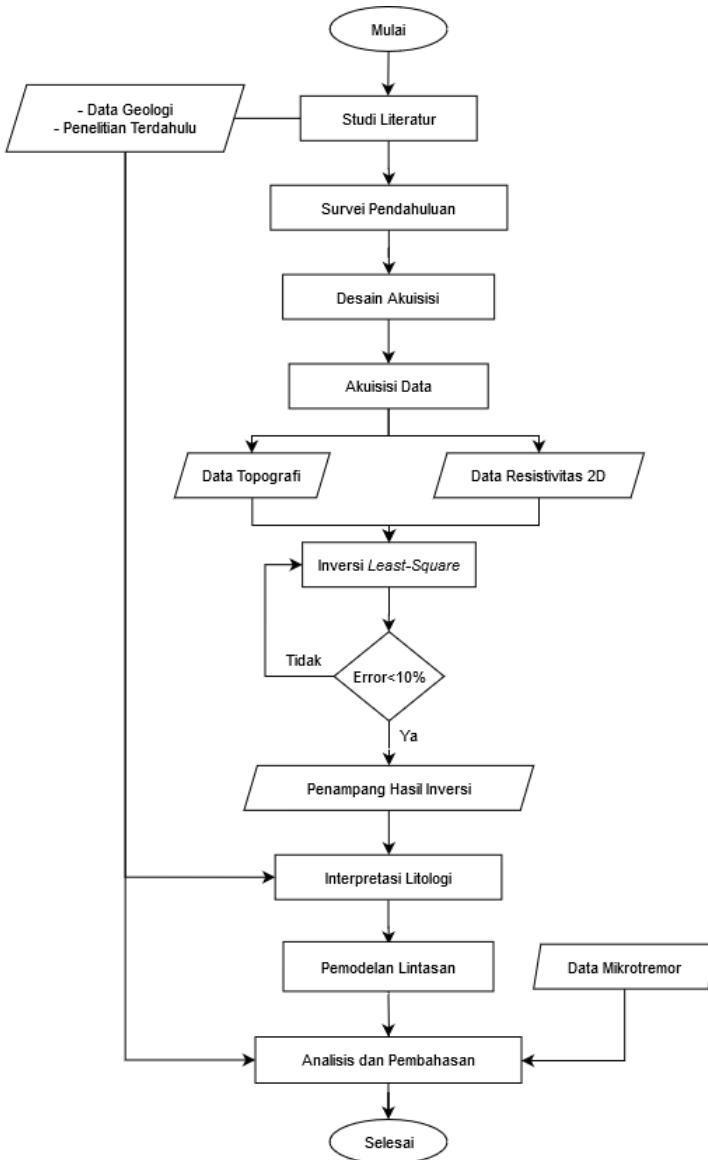
Survei Resistivitas 2D dilakukan dengan menggunakan alat *Resistivity Meter EDAK*, *accumulator* 12 V sebagai sumber tegangan alat *Resistivity Meter*, elektroda sebanyak 38-41 buah tergantung dari panjang lintasan dimana fungsi dari elektroda sebagai media transmisi arus listrik ke dalam bumi dan sebagai media untuk mengukur beda potensial yang timbul. Penghubung alat *Resistivity Meter* dengan elektroda digunakan empat buah rol kabel masing-masing memiliki panjang sekitar 300 meter dan penjepit. Media yang digunakan untuk menancapkan elektroda ke dalam tanah digunakan palu. Peralatan pendukung lainnya yaitu peta lokasi penelitian, *datasheet*, dan alat tulis untuk mencatat data yang didapat selama dilakukannya pengukuran. Rol meter berfungsi untuk mengukur jarak bentangan dan spasi antar elektroda. GPS Garmin digunakan untuk menentukan posisi titik pengukuran. Kompas digunakan untuk mengontrol arah lintasan. *Handy talky* sebagai alat komunikasi antara operator dan tim yang berada di sekitar lintasan. Multimeter dan *toolkit* digunakan untuk mengecek sambungan dan memperbaiki apabila ada sambungan kabel yang terputus.

3.2.2 Perangkat Lunak untuk Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *Perangkat lunak ArcGIS*, *Res2dinv*, *Notepad*, dan *Microsoft Excel*.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini secara garis besar dilakukan dengan tahapan-tahapan seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



3.4 Tahapan Penelitian

3.4.1 Studi Literatur

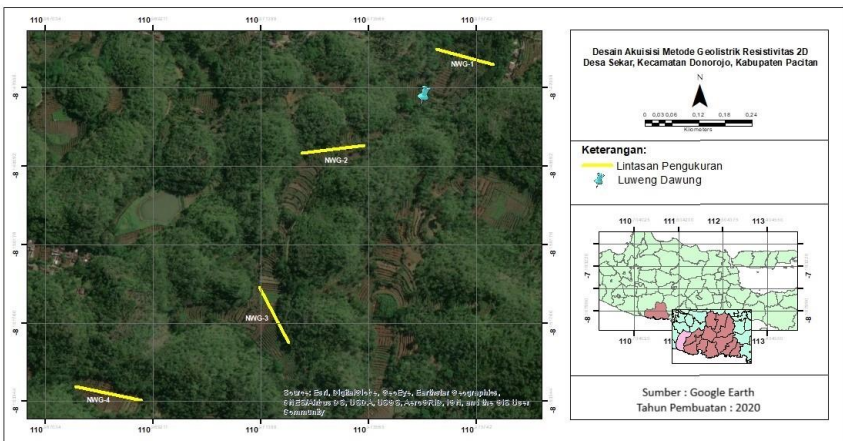
Pada tahap studi literatur dilakukan pencarian referensi teori yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan, penelitian terdahulu yang pernah dilakukan, dan pencarian informasi geologi daerah penelitian. Kemudian dari studi literatur ini akan dirumuskan pendahuluan, tinjauan pustaka, dan bagaimana penelitian ini akan dilakukan.

3.4.2 Survei Pendahuluan

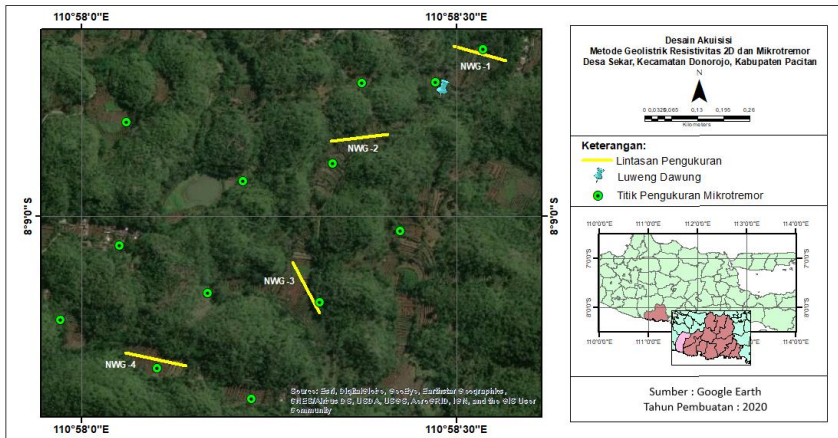
Survei pendahuluan merupakan tahap awal sebelum dilakukannya pengambilan data berupa pengamatan lokasi yang akan dijadikan area penelitian, pemetaan daerah manifestasi seperti luweng, dugaan sungai bawah permukaan, dan dolina sebagai tempat berkumpulnya sedimen hasil pelapukan dan transportasi material batugamping, serta penentuan *basecamp*. Kegiatan ini dilakukan untuk memperoleh gambaran lokasi penelitian secara langsung sebagai bahan acuan untuk menentukan lintasan pengukuran metode geolistrik resistivitas 2D.

3.4.3 Desain Akuisisi

Penentuan desain akuisisi didasarkan pada kondisi lapangan dan keberadaan dolina yang terbentuk akibat adanya proses pelarutan dan terakumulasinya hasil pelapukan/erosi, dimana pada penelitian ini sebaran lintasan dibuat sejajar. Selain itu, penentuan lintasan juga dipertimbangkan dengan titik pengukuran Metode Mikrotremor yang nantinya menjadi data pendukung.



Gambar 3.1 Peta desain akuisisi metode geolistrik resistivitas 2D



Gambar 3.2 *Overlay* Peta Desain Akuisisi Metode Geolistrik Resistivitas 2D dan Mikrotremor (Dimodifikasi dari Setiawan, 2020)

Jarak antar lintasan sekitar 300-400 meter. Kondisi lapangan dapat dilihat pada lampiran 3. Berikut merupakan penjelasan setiap lintasan:

Lintasan NWG-1

Berada di sebelah timur laut Luweng Dawung dengan arah lintasan tenggara-barat laut sepanjang 140 meter. Lintasan berada di ladang kering dan ujung bentangan naik sengkedan.

Lintasan NWG-2

Berada di sebelah barat daya Luweng Dawung dengan arah lintasan barat-timur sepanjang 145 meter. Lintasan memotong jalan dan ladang kering turun sengkedan.

Lintasan NWG-3

Berada di sebelah barat daya Luweng Dawung dengan arah lintasan tenggara-barat laut sepanjang 145 meter. Lintasan berada di ladang kering yang mana dekat dengan manifestasi luweng dan tanah yang mengalami penurunan di sekitar meter 40.

Lintasan NWG-4

Berada di sebelah barat daya Luweng Dawung dengan arah lintasan tenggara-barat laut sepanjang 155 meter. Lintasan berada di ladang kering yang mana dekat dengan manifestasi luweng yang ditimbun batu.

Tabel 3.1 Koordinat lintasan pengukuran

Nama Lintasan	Koordinat Awal		Koordinat Akhir		Elevasi
NWG-1	8° 8'47.54"S	110°58'33.92"T	8° 8'46.40"S	110°58'29.80"T	309 m
NWG-2	8° 8'53.45"S	110°58'24.49"T	8° 8'53.99"S	110°58'19.96"T	354 m
NWG-3	8° 9'3.71"S	110°58'16.90"T	8° 9'7.78"S	110°58'19.06"T	321 m
NWG-4	8° 9'11.99"S	110°58'8.33"T	8° 9'10.94"S	110°58'3.50"T	345 m

3.4.4 Akuisisi Data

Pengambilan data dilakukan dengan menginjeksikan arus secara langsung ke dalam tanah/bawah permukaan melalui dua elektroda arus. Beda potensial yang dihasilkan diukur melalui dua elektroda potensial. Untuk mendapatkan resolusi data horizontal dan vertikal yang baik, digunakan Konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Pada Konfigurasi *Wenner*, datum akan berkurang sebanyak 3 setiap kedalaman (level data), sedangkan pada Konfigurasi *Wenner-Schlumberger*, datum berkurang sebanyak 2 setiap kedalaman (level data) (Loke, 2014).

Data diambil dengan jarak elektroda terkecil sebesar 5 m dengan jumlah n sesuai dengan panjang lintasan. Koordinat ujung lintasan diambil dengan GPS Garmin. Pada saat pengukuran akan diperoleh data besar arus (I) yang dialirkan dan besar beda potensial (V) yang terukur pada elektroda potensial. Dengan menggunakan persamaan (17), faktor geometri (K) didapatkan dari data jarak elektroda terkecil dan level data n , sehingga dapat dihitung tahanan jenis semu (ρ_a) dan dilakukan *Quality Control (QC)* dengan validasi nilai Rho_{app} data pada $n=1$ dengan keadaan geologi di lapangan.

3.4.5 Pengolahan Data

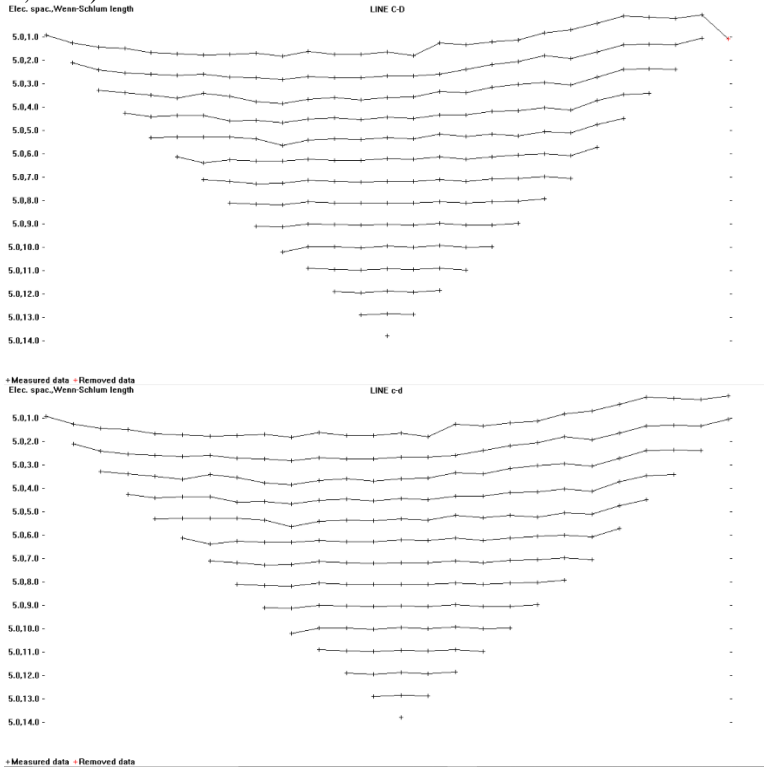
3.4.5.1 Persiapan Data

Perhitungan nilai tahanan jenis semu (ρ_a) digunakan persamaan $\rho_a = K \frac{V}{I}$, dimana K adalah faktor geometri, V adalah beda potensial (V) yang didapat, dan I adalah besar arus (I) yang dialirkan. Setelah dilakukan perhitungan nilai tahanan jenis semu (ρ_a) menggunakan *Microsoft Excel*, data yang ada termasuk data elevasi dibuat berbentuk *.dat* sebagai input data untuk inversi. Pengolahan dapat dilihat lebih jelas pada lampiran 1.

3.4.5.2 Inversi Data

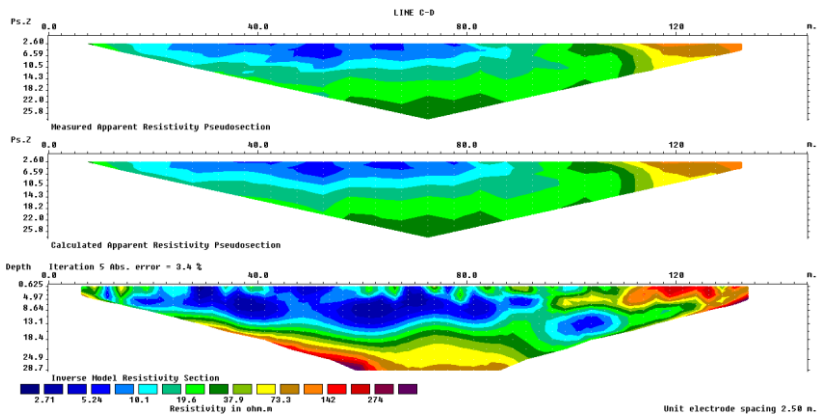
Inversi data yang didapatkan selama di lapangan menjadi model bawah permukaan 2D menggunakan *Perangkat lunak Res2dinv (ver.3.56.22)* oleh *Geotomo Perangkat lunak*. Beberapa *parameter settings* yang ada di dalam *perangkat lunak* dicoba oleh penulis untuk proses pengolahan data sehingga dapat menentukan pengaturannya sendiri. Sebelum dilakukan inversi, *bad datum* dihapus terlebih dahulu. *Bad datum* ini biasanya memiliki nilai resistivitas semu

yang terlalu besar atau terlalu kecil jika dibandingkan dengan data di sekitarnya (Loke, 2014).



Gambar 3. 3 Pseudosection lintasan NWG-2 sebelum *bad datum* dihilangkan (atas) dan setelah *bad datum* dihilangkan (bawah)

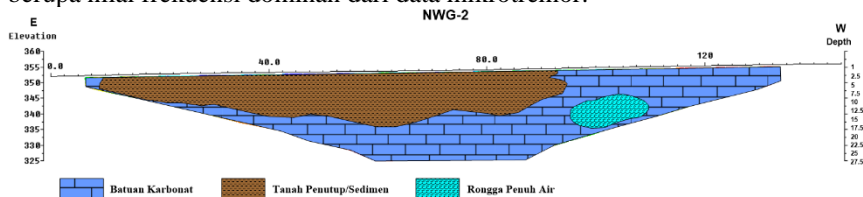
Inversi yang digunakan adalah metode *Smoothness-Constrained Least-Squares*. Metode ini dapat meminimalkan perbedaan antara data lapangan dan model prediksi yang dapat dilihat dari penampang 2D dan menghasilkan model dengan variasi nilai resistivitas yang *smooth* sehingga cocok untuk studi ketebalan sedimen atau litologi bawah permukaan (lihat Azhari, 2016). Data pengukuran diinversi hingga mendapatkan profil 2D dengan *absolute error* kurang dari 10%. Selain dari *absolute error*, profil 2D yang dihasilkan dari inversi dipertimbangkan dari rentang nilai resistivitasnya agar sesuai dengan referensi di daerah penelitian. Hal tersebut dilakukan karena nilai *absolute error* kecil belum tentu menghasilkan profil 2D yang merepresentasikan kondisi daerah penelitian. Jumlah iterasi yang digunakan disesuaikan hingga mencapai *absolute error* minimum atau *absolute error* di bawah 10% (Loke, 2014).



Gambar 3. 4 Hasil inversi data pengukuran lintasan NWG-2

3.4.5.3 *Pemodelan, Korelasi Antar Lintasan dengan Data Pendukung*

Setelah didapatkan penampang hasil inversi, selanjutnya dilakukan interpretasi dan diilustrasi berdasarkan litologi. Lalu dilakukan pemodelan dan dianalisis korelasi antar lintasan penampang gabungan dengan data pendukung berupa nilai frekuensi dominan dari data mikrotremor.



Gambar 3. 5 Hasil ilustrasi berdasarkan litologi penampang NWG-2

3.4.6 Interpretasi

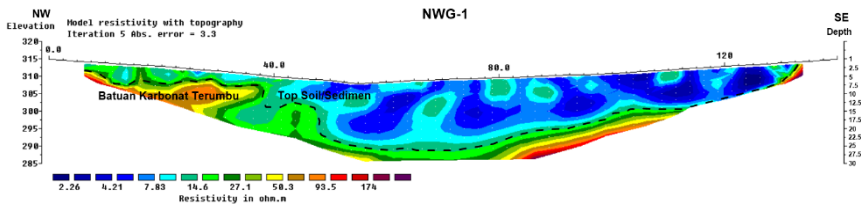
Interpretasi data hasil pengolahan tiap lintasan berdasarkan literatur yang ada, seperti informasi geologi, tabel resistivitas dan penelitian terdahulu. Selanjutnya diidentifikasi ketebalan sedimen yang ada di daerah penelitian.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

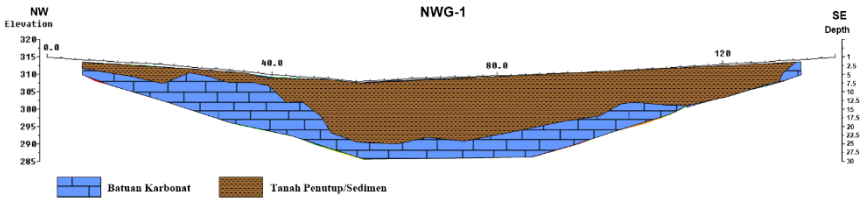
4.1 Penampang 2 Dimensi

Data resistivitas 2D yang telah diinversi menghasilkan penampang 2D, kontur yang terlihat pada penampang merupakan indikator dari nilai resistivitas. Berdasarkan peta geologi regional Pacitan, daerah penelitian termasuk dalam Formasi Wonosari yang terdiri dari batuan karbonat, yaitu batugamping terumbu, batugamping berlapis, dan batugamping pasiran. Sedangkan sebagai sisipan adalah napal. Menurut (Aliyan, 2018; Rahmat, 2018; Surono, dkk., 1992), Formasi Wonosari didominasi oleh batuan karbonat terumbu. Meskipun berada pada formasi yang sama, penampang yang terlihat cukup heterogen karena tanah dan batuan rekah sebagian besar dikontrol oleh kadar air (Bansah dan Anderson, 2018). Masing-masing penampang 2D diinterpretasi jenis batumannya berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan, salah satunya tersaji dalam Tabel 2.1.

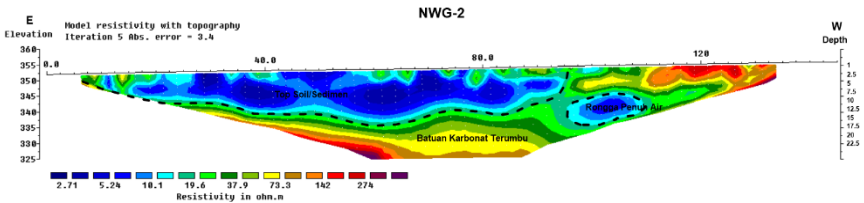


Gambar 4.1 Penampang hasil inversi lintasan NWG-1

Gambar 4.1 menunjukkan hasil inversi penampang lintasan NWG-1 yang berarah barat laut-tenggara dengan nilai *absolute error* sebesar 3.3%. Jumlah iterasi disesuaikan hingga *absolute error* mencapai nilai minimum, yaitu sebanyak 5 kali iterasi. *Range* nilai resistivitas yang ditunjukkan antara 2.26-174 ohm.meter. Nilai resistivitas 0-20 ohm.meter diinterpretasi sebagai lapisan penutup dolina hasil karstifikasi, pelarutan yang dikontrol oleh struktur, dan pelapukan batuan di sekitar dolina dengan ketebalan mencapai 25 m. Lapisan penutup dolina pada lintasan NWG-1 terlihat cukup heterogen karena air mengisi rongga-rongga tanah. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya proses pelarutan oleh air. Air menembus bawah permukaan melewati celah batuan atau batuan yang rekah secara intensif sehingga semakin lama batuan akan tergerus. Dolina di lintasan NWG-1 digunakan sebagai ladang oleh masyarakat sekitar, sehingga air yang menembus bawah permukaan selain dari hujan juga berasal dari pengairan. Nilai resistivitas >20 ohm.meter diinterpretasi sebagai batuan karbonat terumbu yang berada pada meter ke 0-36 pada kedalaman dangkal dan pada kedalaman 20 m dari permukaan. Jika penampang NWG-1 diilustrasi berdasarkan litologi akan terlihat seperti pada gambar 4.2.

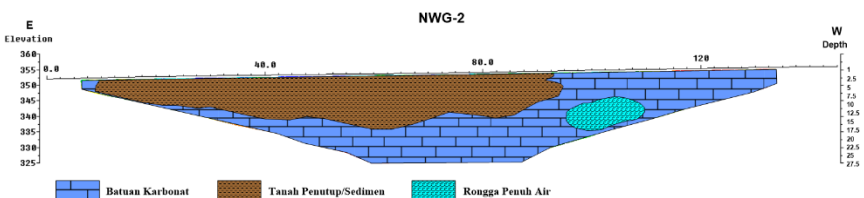


Gambar 4.2 Penampang NWG-1 setelah diilustrasi berdasarkan litologi

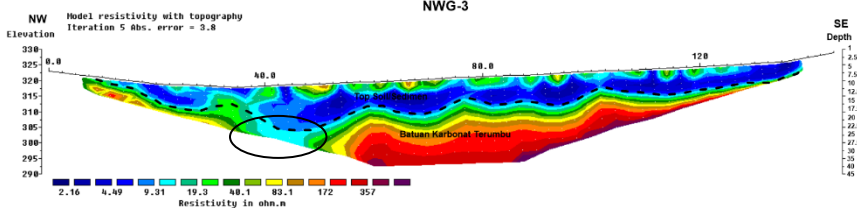


Gambar 4.3 Penampang hasil inversi lintasan NWG-2

Gambar 4.2 menunjukkan hasil inversi penampang lintasan NWG-2 yang berarah barat-timur dengan nilai *absolute error* sebesar 3.4%. Jumlah iterasi disesuaikan hingga *absolute error* mencapai nilai minimum, yaitu sebanyak 5 kali iterasi. *Range* nilai resistivitas yang ditunjukkan antara 2.71-274 ohm.meter. Nilai resistivitas 0-20 ohm.meter diinterpretasi sebagai lapisan penutup dolina hasil karstifikasi, pelarutan yang dikontrol oleh stuktur, dan pelapukan batuan di sekitar dolina dengan ketebalan mencapai 16 m dari permukaan. Lapisan penutup dolina terlihat dari meter 0 hingga meter 95 karena lintasan NWG-2 memang memotong jalan dengan lebar sekitar 6 meter mulai dari meter 95 dan dilanjutkan dengan adanya batuan karbonat terumbu yang terlihat di permukaan. Anomali terlihat pada meter ke 95-107.5 di kedalaman 6 meter dari permukaan dengan nilai resistivitas 3-10 ohm.meter yang diinterpretasi sebagai rongga penuh air. Anomali yang ada disebut sebagai rongga penuh air karena posisinya berada di antara batuan dengan nilai resistivitas sangat kontras. Nilai resistivitas >20 ohm.meter diinterpretasi sebagai batuan karbonat terumbu yang berada pada meter ke 95-145. Batuan karbonat terumbu juga terdapat di kedalaman 20 meter dari permukaan. Jika penampang NWG-2 diilustrasi berdasarkan litologi akan terlihat seperti pada gambar 4.4.

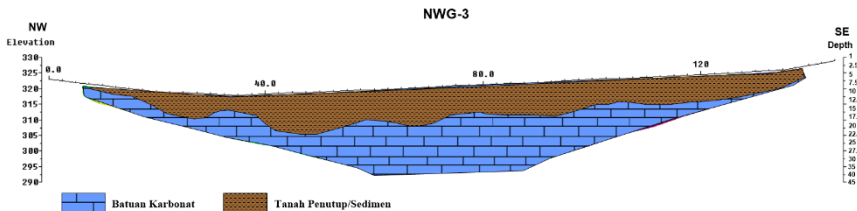


Gambar 4.4 Penampang NWG-2 setelah diilustrasi berdasarkan litologi

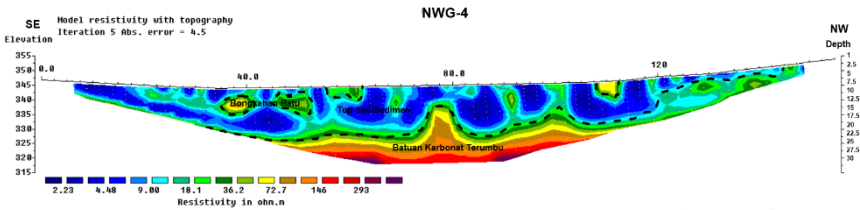


Gambar 4.5 Penampang hasil inversi lintasan NWG-3

Gambar 4.3 menunjukkan hasil inversi penampang lintasan NWG-3 berarah barat-laut tenggara dengan nilai *absolute error* sebesar 3.8%. Jumlah iterasi disesuaikan hingga *absolute error* mencapai nilai minimum, yaitu sebanyak 5 kali iterasi. *Range* nilai resistivitas yang ditunjukkan antara 2.16-357 ohm.meter. Nilai resistivitas 0-20 ohm.meter diinterpretasi sebagai lapisan penutup hasil karstifikasi, pelarutan yang dikontrol oleh stuktur, dan pelapukan batuan di sekitar dolina dengan ketebalan mencapai 17 m. Pada permukaan terdapat tanah yang lebih kering dengan nilai resistivitas 15-20 ohm.meter dengan ketebalan sekitar 4 meter. Dolina di lintasan NWG-3 digunakan masyarakat sebagai ladang dan terdapat penurunan tanah terlihat di lapangan sekitar meter ke 40 yang menjadi tempat bermuaranya air. Pada penampang NWG-3 juga terlihat di kedalaman sekitar 22 m pada posisi yang sama (lingkaran hitam) menunjukkan nilai resistivitas >20 ohm.meter masih menerus, tetapi tidak dapat dijelaskan lebih lanjut karena keterbatasan kedalaman yang dicapai. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pelarutan masih terjadi dan air masuk melalui rekahan atau celah batuan hingga mencapai kedalaman lebih dari 30 meter. Nilai resistivitas >20 ohm.meter diinterpretasi sebagai batuan karbonat terumbu yang berada di kedalaman sekitar 18 m dari permukaan. Jika penampang NWG-3 diilustrasi berdasarkan litologi akan terlihat seperti pada gambar 4.6.

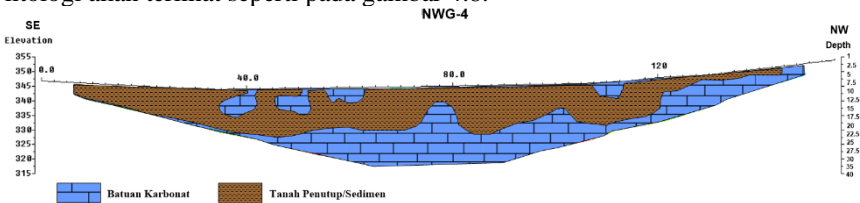


Gambar 4.6 Penampang NWG-3 setelah diilustrasi berdasarkan litologi



Gambar 4.7 Penampang hasil inversi lintasan NWG-4

Gambar 4.4 menunjukkan hasil inversi penampang lintasan NWG-4 berarah barat laut-tenggara dengan nilai *absolute error* sebesar 4.5%. Jumlah iterasi disesuaikan hingga *absolute error* mencapai nilai minimum, yaitu sebanyak 5 kali iterasi. *Range* nilai resistivitas yang ditunjukkan antara 2.23-293 ohm.meter. Nilai resistivitas 0-20 ohm.meter diinterpretasi sebagai lapisan penutup hasil karstifikasi, pelarutan yang dikontrol oleh stuktur, dan pelapukan batuan di sekitar dolina dengan ketebalan mencapai 20 m. Seperti penampang NWG-1, penampang NWG-4 cukup heterogen karena adanya pelarutan oleh air. Ketika air melarutkan batuan dengan membuat celah batuan semakin membesar, air juga mengisi rongga-rongga tanah atau batuan tersebut. Jika air mengisi rongga tanah, maka tanah akan basah (kadar airnya tinggi) karena porositas tanah lebih besar dari batuan sehingga air mudah menyebar. Sedangkan jika air mengisi rongga batuan, maka akan terlihat anomali yang posisinya berada di antara batuan keras yang diinterpretasi sebagai rongga penuh air. Nilai resistivitas >20 ohm.meter diinterpretasi sebagai batuan karbonat terumbu pada kedalaman sekitar 20 meter dari permukaan dan juga berupa bongkah yang berada pada meter ke 35-40, 55-62.5, dan meter ke 107.5-112.5. Jika penampang NWG-4 diilustrasi berdasarkan litologi akan terlihat seperti pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Penampang NWG-4 setelah diilustrasi berdasarkan litologi

4.2 Hubungan Ketebalan Sedimen antar Lintasan dan Data Pendukung

Jika melihat dari lintasan NWG-1 sampai NWG-5, terdapat variasi ketebalan lapisan penutup/sedimen dolina yang tidak jauh berbeda. Masing-masing ketebalannya dari NWG-1 sampai NWG-4 adalah 25 m, 16 m, 17 m, dan 20 m. Ketebalan sedimen hasil interpretasi tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan di Desa Sekar oleh (Naufaldi, 2017) dimana mendapat angka ketebalan penutup dolina/sedimen rata-rata sekitar 20 m. Dari ketebalan sedimen setiap lintasan yang didapat berdasarkan penampang

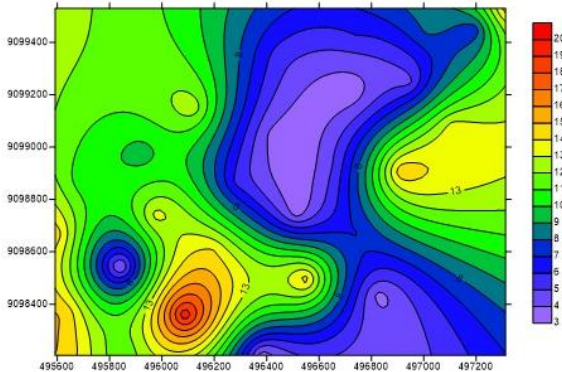
resistivitas 2D, belum terlihat bagaimana hubungan antar lintasan, apakah sedimen semakin menebal ke arah selatan atau sebaliknya. Hal tersebut disebabkan oleh cakupan daerah penelitian yang kurang luas jika dibandingkan dengan luas daerah Pacitan Formasi Wonosari (bagian barat dan selatan Pringkuku), dimana jarak antar lintasan hanya sekitar 300-400 meter.

Penelitian untuk tugas akhir menggunakan metode mikrotremor dengan analisis HVSR yang dilakukan oleh (Setiawan, 2020), menghasilkan persebaran nilai frekuensi dominan (f_0). Frekuensi dominan (f_0) berkaitan dengan kondisi geologi lokasi pengukuran. Ketebalan sedimen di daerah penelitian mempengaruhi secara langsung nilai dari frekuensi dominan (f_0). Nilai frekuensi dominan (f_0) rendah mengindikasikan adanya sedimen yang cukup tebal dan sebaliknya (Nakamura, 1989). Gambar 4.9 dan 4.10 menunjukkan kontur persebaran nilai frekuensi dominan (f_0), serta tabel 4.1 menunjukkan nilai frekuensi dominan (f_0) pada titik pengukuran mikrotremor terdekat dengan lintasan geolistrik.

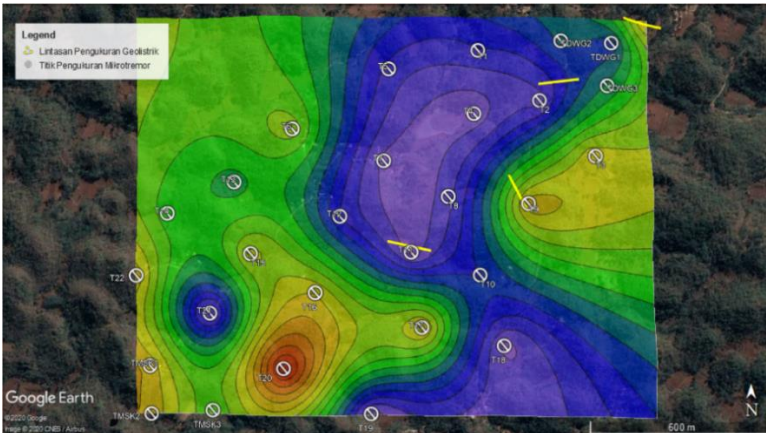
Tabel 4.1 Nilai frekuensi dominan (f_0) pada titik pengukuran mikrotremor terdekat dengan lintasan geolistrik

Lintasan	Titik Terdekat	Frekuensi Dominan (f_0) (Hz)
NWG-1	TDWG1	14,6
NWG-2	T2	4,7
NWG-3	T9	11,8
NWG-4	T11	3,5

Rentang nilai frekuensi dominan (f_0) rendah adalah 3,35-6,95 Hz dan nilai frekuensi dominan (f_0) tinggi adalah 7,4-19,85 Hz (Kanai dalam Setiawan, 2020). Titik T2 dan T11 termasuk dalam frekuensi dominan (f_0) rendah dan berdasarkan tabel 2.3 ketebalan sedimen masuk dalam kategori tebal, sekitar 10-30 m. Titik TDWG-1 dan T9 termasuk ke dalam frekuensi dominan (f_0) tinggi yang mengindikasikan adanya getaran yang ditimbulkan oleh sungai bawah permukaan karena dekat dengan luweng dan berada di atas bukit yang memiliki sedimen tipis (Setiawan, 2020).



Gambar 4. 9 Peta persebaran frekuensi dominan (Setiawan, 2020)



Gambar 4. 10 *Overlay* kontur persebaran frekuensi dominan dengan lintasan pengukuran geolistrik

Ketebalan sedimen didapatkan dari perhitungan menggunakan persamaan (18). Nilai kecepatan geser didapatkan dari USGS, yaitu titik T2 sebesar 325,220, titik T9 sebesar 423,739, dan T11 sebesar 450,179. Hasil perhitungan ketebalan sedimen pada titik T2 sebesar 17,29 m, titik T9 sebesar 13,17 m, dan titik T11 sebesar 23,21 m.

4.3 Faktor Pengontrol

Ketebalan lapisan penutup dolina tergantung dari beberapa hal. Salah satunya adalah jenis batuan karbonat yang mengalami karstifikasi. Di daerah penelitian termasuk dalam Formasi Wonosari yang didominasi oleh batuan karbonat terumbu. Jika dibandingkan dengan daerah Pacitan Formasi Oyo yang dominan

batuan karbonat klastik, berdasarkan nilai resistivitas dalam penelitian (Rahmat, 2018), nilai resistivitas batuan karbonat Formasi Wonosari lebih besar daripada batuan karbonat Formasi Oyo. Parameter resistivitas digunakan untuk mengetahui keberadaan fluida yang mengisi pori-pori batuan. Pori-pori batuan yang berisi udara akan memiliki nilai resistivitas lebih tinggi daripada pori-pori batuan yang berisi air. Batuan dalam keadaan yang sama terisi udara, memiliki nilai resistivitas yang sebanding dengan nilai porositas. Semakin besar nilai resistivitas suatu batuan, maka semakin besar pula nilai porositasnya (Schoen, 2011). Hal tersebut menunjukkan bahwa batuan karbonat Formasi Wonosari memiliki nilai porositas yang lebih besar daripada batuan karbonat Formasi Oyo. Dengan nilai porositas yang lebih besar, pori-pori batuan karbonat Formasi Wonosari cenderung akan lebih banyak terisi fluida, dalam hal ini adalah air. Karstifikasi yang didominasi oleh pelarutan melibatkan air untuk melarutkan batuan karbonat secara fisik maupun kimia (Adji dan Haryono, 2004).

Selain dari parameter fisis resistivitas, berdasarkan analisis petrografi dan geokimia (Rahmat, 2018), Formasi Wonosari yang didominasi oleh batuan karbonat terumbu terdiri dari mineral kalsit dan dolomit dalam jumlah yang besar. Adanya dolomit mengindikasikan konsentrasi Mg sangat tinggi yang berarti akan mengalami dolomitisasi. Sedangkan Formasi Oyo yang didominasi oleh batugamping berlapis terdiri dari mineral kalsit dalam jumlah yang besar. Mineral kalsit merupakan mineral karbonat yang paling stabil, sehingga diperkirakan dolomitisasi tidak terjadi di daerah yang tersusun atas batugamping berlapis. Dari pemaparan tersebut dapat disimpulkan bahwa pelarutan yang terjadi di Formasi Wonosari lebih intens daripada Formasi Oyo.

Proses karstifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor pengontrol, antara lain karakteristik batuan tersebut, struktur, dan curah hujan (Adji and Haryono, 2004). Curah hujan merupakan faktor pengontrol utama terjadinya karstifikasi. Berdasarkan data CHRS tahun 2015-2019 yang dapat dilihat pada grafik dalam lampiran 2, daerah penelitian termasuk ke dalam zona yang memiliki curah hujan cukup tinggi, yaitu sekitar 200 mm/tahun. Berdasarkan peta geologi regional, daerah penelitian termasuk ke dalam Formasi Wonosari yang tersusun atas karbonat paparan. Karbonat termasuk dalam batuan yang mudah larut sehingga dapat disebut sebagai karst. Karakteristik batuan juga sudah dibahas pada paragraf sebelumnya.

Selain batuan yang mudah larut, porositas sekunder juga berkembang di daerah penelitian yang mana dikontrol oleh sesar. Sesar geser utama yang mengontrol di daerah penelitian adalah Sesar Grendulu berarah timur laut-barat daya dan Sesar Punung berarah barat laut-tenggara (Bemmelen, 1949). Sesar ini mempengaruhi pola pengaliran yang pada umumnya berarah timur laut-barat daya dan barat-timur (Aliyan, 2018). Adanya pengaruh dari sesar ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh (Naufaldi, 2017) dan (Nurfitrana, 2018) menggunakan metode geolistrik 2D untuk mengetahui keadaan bawah permukaan. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa arah sungai bawah

permukaan yang berkembang di daerah penelitian mempunyai arah yang sama dengan Sesar Grendulu, yaitu timur laut-barat daya. Sehingga dari arah aliran sungai bawah permukaan dimana air selalu melewati zona lemah, dapat diketahui bahwa rekahan pada batuan di wilayah Karst Pacitan yang terbentuk dikontrol oleh struktur, yaitu Sesar Grendulu (Bahri dkk., 2019).

Pola pengaliran yang berkembang di perbukitan gamping kerucut Formasi Wonosari (bagian barat Pringkuku) dari hasil analisis morfografi (Aliyan, 2018) termasuk dalam pola pengaliran multibasinal, yaitu pola pengaliran yang terdiri dari pola pengaliran yang nampak di permukaan dan pola pengaliran bawah tanah. Pola pengaliran multibasinal dapat ditemukan di daerah yang dapat mengalami karstifikasi. Desa Sekar dan Desa Dersono termasuk daerah yang berada pada satu formasi, yaitu Formasi Wonosari yang memiliki sistem sungai bawah permukaan, sehingga kedua daerah ini diperkirakan memiliki satuan geomorfologi yang sama, yaitu satuan geomorfologi perbukitan gamping kerucut. Dari uraian tersebut dapat diketahui bahwa tanah penutup dolina di daerah penelitian berasal dari karstifikasi, pelarutan yang dikontrol oleh struktur, dan pelapukan dari daerah di sekitar dolina seperti bukit-bukit yang ada. Berbeda dengan perbukitan gamping struktural (bagian timur Pringkuku) yang memiliki pola pengaliran rektangular dimana sungai hanya berada di permukaan dikontrol oleh struktur berupa sesar. Sehingga dari uraian tersebut dapat diketahui bahwa tanah penutup dolina hanya berasal dari pelarutan yang dikontrol oleh struktur dan pelapukan dari daerah di sekitar dolina.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis ketebalan sedimen dengan metode geolistrik 2D dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut ini :

1. Berdasarkan persebaran nilai resistivitas bawah permukaan, jenis batuan yang ada di sekitar Luweng Dawung terdiri dari tanah penutup dolina berupa sedimen hasil karstifikasi dan pelapukan batuan yang ada di sekitar dolina seperti bukit-bukit dengan nilai resistivitas <20 Ohm.meter dan batuan karbonat terumbu dengan nilai resistivitas >20 Ohm.meter.
2. Berdasarkan nilai resistivitas, ketebalan sedimen lintasan NWG-1 sebesar 25 m, NWG-2 sebesar 16 m, NWG-3 sebesar 17 m, dan NWG-4 sebesar 20 m.
3. Dari ketebalan sedimen setiap lintasan yang didapat berdasarkan penampang resistivitas 2D, belum terlihat bagaimana hubungan antar lintasan, apakah sedimen semakin menebal ke arah selatan atau sebaliknya. Hal tersebut disebabkan oleh cakupan daerah penelitian yang kurang luas jika dibandingkan dengan luas daerah Pacitan Formasi Wonosari. Namun persebaran frekuensi dominan (f_0) bernilai rendah antara 3,35-6,95 Hz mendukung jika di daerah penelitian termasuk ke dalam kategori memiliki sedimen tebal, yaitu sekitar 10-30 meter.

5.2 Saran

Saran penulis untuk penelitian selanjutnya adalah agar menggunakan metode yang sama untuk meneliti lebih lanjut ketebalan sedimen pada lintasan yang sama untuk mengetahui perubahan tanah penutup dolina maupun pada lintasan yang berbeda. Selain itu, pemboran diperlukan untuk validasi hasil penelitian metode geofisika yang digunakan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T., Haryono, E., 2004. Buku Ajar Karst Indonesia. Kelompok Studi Karst Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Aliyan, S.A., 2018. Identifikasi Kontrol Struktur Geologi Terhadap Pola Aliran Sungai Bawah Permukaan di Kawasan Karst Pringuku, Pacitan (Tesis). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Andriyani, S., Ramelan, A.H., Sutarno, 2010. Metode Geolistrik Imaging Konfigurasi Dipole-Dipole Digunakan untuk Penelusuran Sistem Sungai Bawah Tanah pada Kawasan Karst di Pacitan, Jawa Timur. J. EKOSAINS II.
- Azhari, M., 2016. Analisis Jenis Batuan menggunakan Metoda Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner di Bukit Apit pahun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi. Pillar Phys. 7, 01–08.
- Bahri, A.S., Hardyani, P.V., Utama, W., Hilyah, A., Purwanto, M.S., Fajar, M.H.M., 2019. Controlling Factors of Underground River System of Karst Region in Pacitan Regency, East Java. IOP Conf Ser. Earth Environ. Sci.
- Bansah, K.J., Anderson, N.L., 2018. Mapping Subsurfae in Karst Terrain Using 2-D Electrical Resistivity Tomography, in: Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2018. Presented at the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2018, Society of Exploration Geophysicists and Environment and Engineering Geophysical Society, Nashville, Tennessee, USA, pp. 255–259. <https://doi.org/10.4133/sageep.31-011>
- Bemmelen, R.W.V., 1949. The Geology of Indonesia. General Geologi of Indonesia and Adjacent Archipelagoes. Government Printing Office, Netherlands.
- Chemistra, P., 2018. Karakterisasi Data Mikrotremor Berdasarkan Analisis Kurva HVSR, Particle Motion, dan Time Frequency Analysis pada Sistem Sungai Kedung Banteng, Pacitan, Jawa Timur (Tugas Akhir). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Fadhli, Z., Saad, Dr.R., Nordiana, Dr.M.M., Azwin, N., Bery, A.A., 2015. Mapping Subsurface Karst Formation Using 2-D Electrical Resistivity Imaging (2-DERI) 20, 10.
- Ford, D., Williams, P., 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex PO19 8SQ, England.
- Hardyani, P.V., 2018. Identifikasi Perkembangan Sistem Sungai Bawah Permukaan Kawasan Karst Dersono Pacitan menggunakan Metode VES (Vertical Electrical Sounding) (Tugas Akhir). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Kaufmann, G., Romanov, D., Tippelt, T., Vienken, T., Werban, U., Dietrich, P., Mai, F., Börner, F., 2018. Mapping and Modelling of Collapse

- Sinkholes in Soluble Rock: The Münsterdorf Site, Northern Germany. *J. Appl. Geophys.* 154, 64–80. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.04.021>
- Kneisel, C., 2006. Assessment of Subsurface Lithology in Mountain Environments Using 2D Resistivity Imaging. *Geomorphology* 80, 32–44. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.09.012>
- Koesuma, S., Pratiwi, S., Legowo, B., 2018. Penentuan Ketebalan Sedimen Menggunakan Metode Mikrotremor di Kota Surakarta. *Risal. Fis.* 2, 25–28. <https://doi.org/10.35895/rf.v2i1.73>
- Kurniawan, F.Z., 2018. Interpretasi Data Resistivitas 1D (VES) Kawasan Karst Studi Kasus Desa Sekar, Pacitan (Tugas Akhir). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Kuswanto, A., 2005. Aplikasi Metoda Res-2D untuk Eksplorasi Air Bawah Tanah di Daerah Kars. *Pus. Pengkaj. Dan Penerapan Teknol. Pengemb. Sumberd. Miner. – BPPT* 1.
- Lestari, W., Hilyah, A., Syaifuddin, F., Rochman, J.P.G.N., Banuboro, A., Arwananda, A.P., A, D.F., 2017. Identifikasi Sedimen Piroklastik Pada Kawah Tengger Gunung Bromo Menggunakan Metode Resistivitas 2D. *J. Geosaintek* 3, 115. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v3i2.2967>
- Loke, D.M.H., 2014a. Tutorial : 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys 180.
- Loke, D.M.H., 2014b. Rapid 2-D Resistivity & IP Inversion Using The Least-Squares Method. *Geotomo Software, Malaysia*.
- Loke, M.H., 1999. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies* 67.
- Naufaldi, F., 2017. Aplikasi Metode Resistivitas 2D pada Pemetaan Pola Aliran Sungai Bawah Permukaan Kedung Banteng, Pacitan, Jawa Timur (Tugas Akhir). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Nurfitriana, I., 2018. Identifikasi Sungai Bawah Permukaan dengan Metode Resistivitas 2D Konfigurasi Wenner Schlumberger Kawasan Karst Desa Dersono, Pacitan (Tugas Akhir). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Rahmat, M., 2018. Analisis Parameter Fisis (Vp, Bulk Density, Resistivitas) dan Geokimia untuk Karakterisasi Batuan Karbonat Kawasan Karst Pringkuku, Pacitan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Reynolds, J.M., 2011. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, Second. ed. Wiley-Blackwell, United Kingdom.
- Samodra, H., Gafoer, G., 1992. *Laporan Geologi Lembar Pacitan, skala 1:100.000*.
- Schoen, J.H., 2011. *Physical Properties of Rocks*. Elsevier B.V.
- Telford, W.M., 1992. *Applied Geophysics*, 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengolahan Data

Pengolahan data menggunakan beberapa *perangkat lunak* komputer, antara lain : *Microsoft Excel* digunakan untuk melakukan perhitungan nilai resistivitas semu dari data yang didapatkan di lapangan, *Notepad* digunakan untuk menyimpan data berbentuk .dat sebagai input *perangkat lunak Res2div*, dan *Res2div* digunakan untuk inversi data yang menghasilkan penampang 2D.

Berikut ini merupakan langkah-langkah pengolahan data yang didapatkan dari lapangan :

- Data hasil pengukuran di lapangan berupa nilai beda potensial (V) dan kuat arus (I). Dilakukan perhitungan nilai resistansi (R), lalu dikalikan dengan faktor geometri (K) Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* sehingga menghasilkan nilai resistivitas semu (ρ_{app}) seperti yang ditunjukkan gambar 1.

No	n	Nomor Meter				Nomor Channel				K	V	I	R	Rho app
		A	M	N	B	A	M	N	B					
		0	10	15	1	2	3	4						
1	1	0	5	10	15	1	2	3	4	31.41592653590	41.8	169.4	0.246753	7.751982
2	1	5	10	15	20	2	3	4	5	31.41592653590	26.0	154.4	0.168394	5.290247
3	1	10	15	20	25	3	4	5	6	31.41592653590	70.2	204.2	0.343781	10.80019
4	1	15	20	25	30	4	5	6	7	31.41592653590	36.5	162.9	0.224064	7.039173
5	1	20	25	30	35	5	6	7	8	31.41592653590	39.9	162	0.246296	7.737626
6	1	25	30	35	40	6	7	8	9	31.41592653590	73.0	238.3	0.306337	9.623847
7	1	30	35	40	45	7	8	9	10	31.41592653590	38.5	168	0.229167	7.199483
8	1	35	40	45	50	8	9	10	11	31.41592653590	130.0	355.9	0.365271	11.47533
9	1	40	45	50	55	9	10	11	12	31.41592653590	86.5	317	0.272871	8.572485
10	1	45	50	55	60	10	11	12	13	31.41592653590	90.0	274.3	0.328108	10.30781
11	1	50	55	60	65	11	12	13	14	31.41592653590	96.0	342.6	0.28021	8.803062
12	1	55	60	65	70	12	13	14	15	31.41592653590	72.5	263.2	0.275456	8.653703
13	1	60	65	70	75	13	14	15	16	31.41592653590	56.0	228	0.245614	7.716192
14	1	65	70	75	80	14	15	16	17	31.41592653590	29.0	142	0.204225	6.415929
15	1	70	75	80	85	15	16	17	18	31.41592653590	57.7	247.3	0.23332	7.329959
16	1	75	80	85	90	16	17	18	19	31.41592653590	51.0	231.3	0.220493	6.926988
17	1	80	85	90	95	17	18	19	20	31.41592653590	27.3	118.1	0.23116	7.262107
18	1	85	90	95	100	18	19	20	21	31.41592653590	50.0	262.3	0.190621	5.988549
19	1	90	95	100	105	19	20	21	22	31.41592653590	41.0	176	0.232955	7.318483

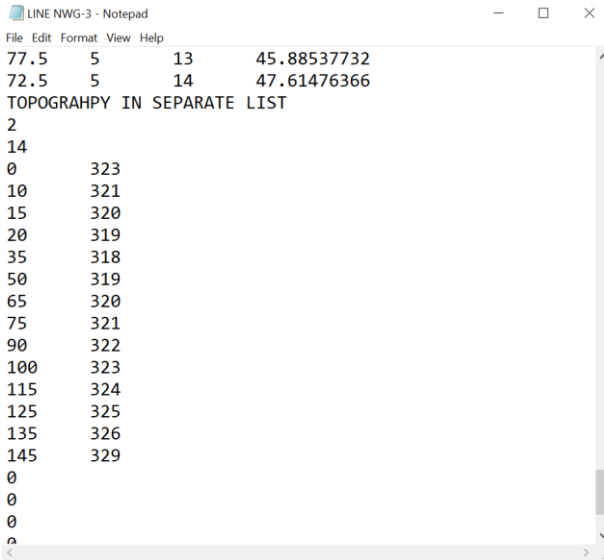
Gambar 1. Perhitungan nilai resistivitas semu menggunakan *Microsoft Excel*

- Setelah dilakukan perhitungan nilai resistivitas semu, dibuat input data *Res2div* menggunakan *Notepad* dengan format penyimpanan .dat seperti yang ditunjukkan gambar 2.

```
LINE NWG-3
5
7
196
1
0
7.5      5      1      27.57781449
12.5     5      1      21.8953175
17.5     5      1      14.33708647
22.5     5      1      12.06233064
27.5     5      1      9.133390957
32.5     5      1      11.52663971
37.5     5      1      8.323573622
42.5     5      1      10.56464786
47.5     5      1      9.47627948
52.5     5      1      8.286403158
57.5     5      1      8.914217687
62.5     5      1      8.829980653
```

Gambar 2. Format data input *Res2dinv*

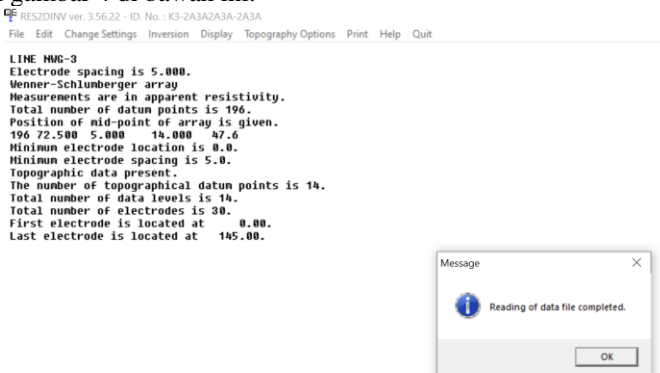
Pada baris pertama diisi nama data, baris kedua diisi spasi terkecil elektroda, baris ketiga diisi konfigurasi yang digunakan (7 untuk *Wenner-Schlumberger*), baris keempat diisi jumlah datum, baris kelima diisi 1 untuk titik tengah tepat berada di tengah, baris keenam diisi 0 untuk resistivitas, baris ketujuh diisi (untuk *Wenner-Schlumberger* terdapat 4 kolom dengan kolom pertama : posisi datum, kolom kedua : spasi elektroda terkecil, kolom ketiga : level data-n, dan kolom keempat : harga resistivitas semu). Data topografi disertakan dalam *Notepad* setelah seluruh data resistivitas telah masuk seperti yang ditunjukkan gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Data topografi di setiap ada perubahan ketinggian

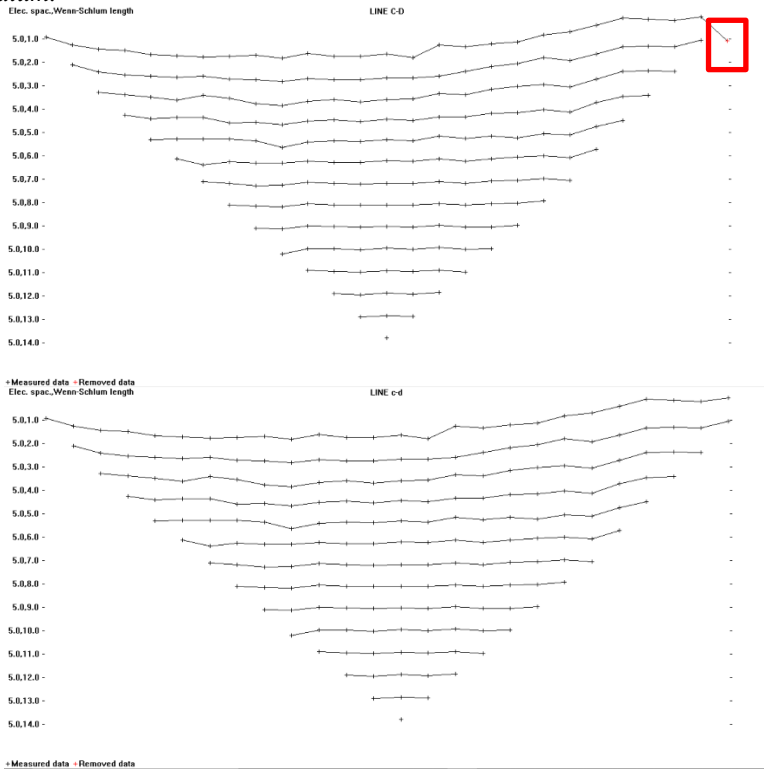
Setelah data resistivitas terakhir, baris selanjutnya diisi dengan judul. Baris selanjutnya diisi dengan angka 2 sebagai indikator adanya data topografi. Baris setelahnya diisi jumlah datum topografi yang dimasukkan. Datum topografi meter 0 dan terakhir harus disertakan. Dilanjutkan baris dengan 2 kolom yang terdiri dari posisi dan ketinggian. Input data ini diakhiri angka 0 sebanyak 7 dan disimpan dalam bentuk *.dat*.

- Masukkan input data bentuk *.dat* ke dalam *Res2dinv* dengan pilih *file*, lalu pilih *read data*, pilih data yang akan diolah, maka akan muncul tampilan seperti gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Input data pada Perangkat lunak *Res2dinv*

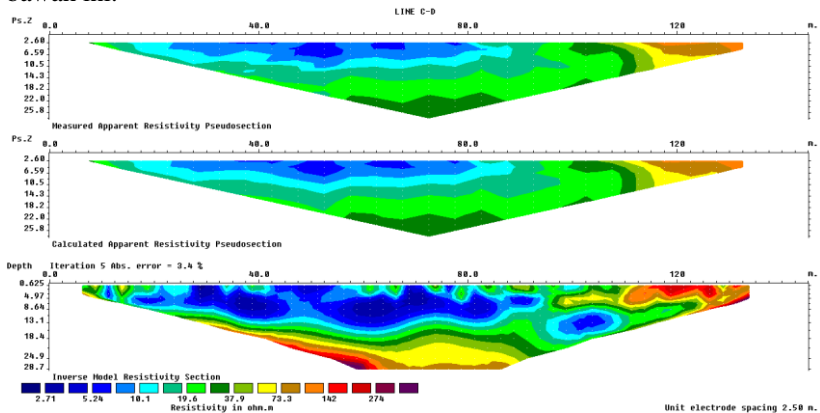
- Selanjutnya merupakan langkah pengolahan sebelum dilakukan inversi. Yang pertama adalah melihat kondisi datum (*pseudosection*) untuk menghilangkan *bad datum/outliers* (datum yang tidak diinginkan) dengan klik *Edit->exterminate bad datum*, lalu klik *outliers* (biasanya tidak mengikut tren data). Pada pengolahan kali ini, *outliers* dihilangkan secara manual karena jumlah datum tidak banyak sehingga tidak memerlukan penghapusan *outliers* melalui *RMS error statistics* (lihat Loke, 2014). Berikut ini merupakan gambar 5 sebelum dan sesudah *exterminate bad datum*.



Gambar 5. *Pseudosection* data yang belum dilakukan penghilangan *bad datum* (atas) dan *pseudosection* setelah *exterminate bad datum*.

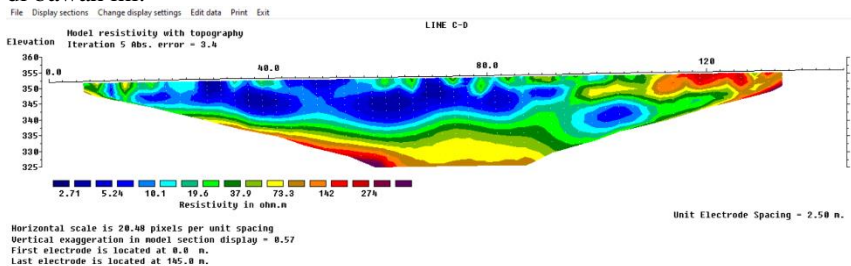
- Setelah *exterminate bad datum* dan ditutup, otomatis diarahkan untuk menyimpan kembali. Selanjutnya *read data* kembali data yang barusan disimpan. Langkah selanjutnya adalah mengatur *parameter settings* yang mana disesuaikan dengan kondisi data. Setelah itu, dilakukan inversi menggunakan metode *Smoothness-Constrained Least-Squares* dengan cara klik *inversion->include smoothing of model resistivity->yes->inversion-*

>least-squares inversion maka akan tampak penampang seperti gambar 6 di bawah ini.



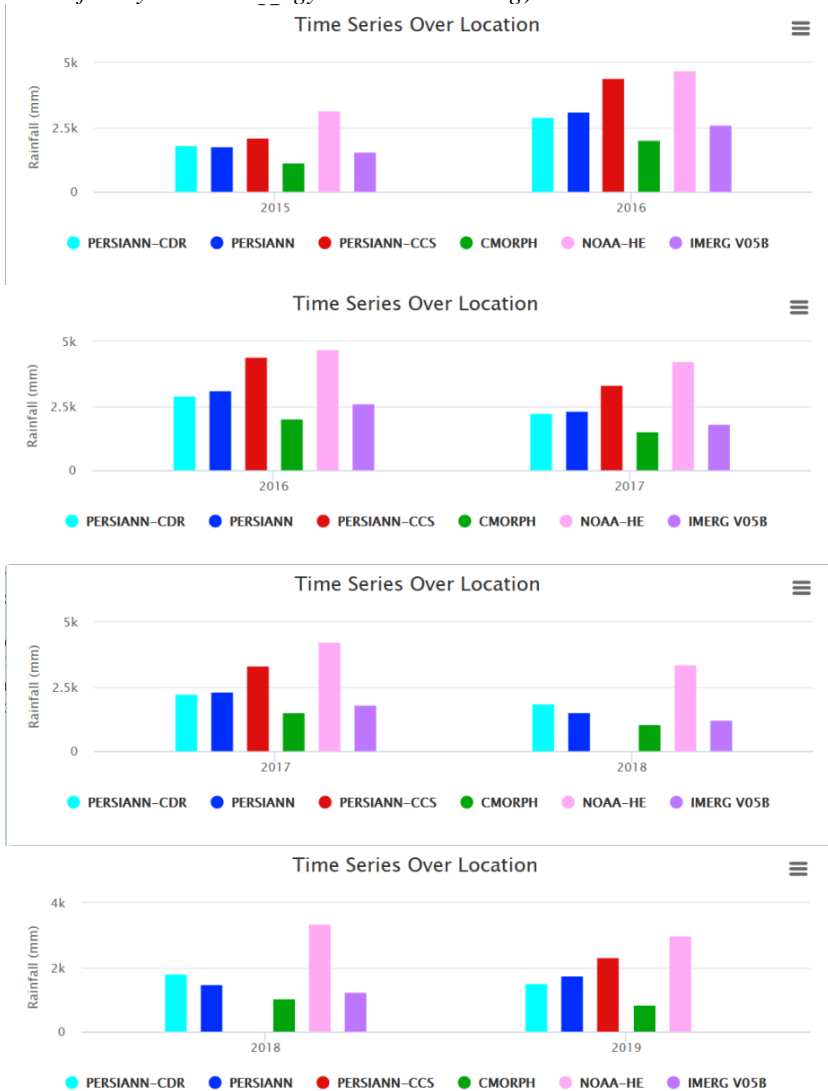
Gambar 6. Penampang persebaran data pengukuran (atas), data perhitungan (tengah), dan hasil inversi (bawah)

- Ketika *absolute error* masih lebih dari 10%, maka dilakukan penyesuaian kembali dengan mengatur *parameter settings*.
- Untuk melihat penampang dengan data topografi, klik *Display sections->Include topography in model display*, maka akan terlihat seperti gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Penampang dengan *display* topografinya

Lampiran 2. Data Curah Hujan Daerah Penelitian Tahun 2015-2019 dari CHRS
(Center for Hydrometeorology & Remote Sensing)

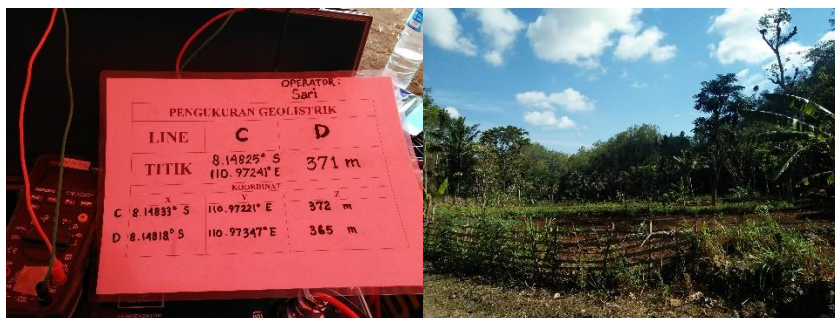


Gambar 8. Data curah hujan daerah penelitian tahun 2015-2019 dari CHRS
(Center for Hydrometeorology & Remote Sensing)

Lampiran 3. Dokumentasi



Gambar 9. Daerah penelitian lintasan NWG-1



Gambar 10. Daerah penelitian lintasan NWG-2



Gambar 11. Daerah penelitian lintasan NWG-3

BIOGRAFI PENULIS



Putri Nawangsari, lahir di Surabaya, pada tanggal 27 September 1997. Anak pertama dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Sekardangan Sidoarjo (2004-2007), SD Negeri Pulo Lor 1 Jombang (2007-2008), SD Negeri Sumpat Sidoarjo (2008-2010), SMP Negeri 1 Sidoarjo (2010-2013), dan SMA Negeri 2 Sidoarjo (2013-2016). Penulis masuk di Departemen Teknik Geofisika ITS pada tahun 2016. Selama menjadi mahasiswi Teknik Geofisika ITS, penulis mendapatkan beberapa pengalaman berorganisasi, antara lain; menjadi staff Departemen Dalam Negeri HMTG ITS (2017-2018); menjadi staff UKM Penalaran ITS (2017-2018); dan menjadi kepala divisi propaganda Departemen

Dalam Negeri HMTG ITS (2018-2019). Penulis juga aktif dalam bidang LKMM, yaitu dengan mengikuti LKMM mulai dari tingkat Pra-Dasar hingga LKMM Tingkat Menengah. Penulis pernah menjadi salah satu peserta proyek bersama mahasiswa *Kumamoto University* Jepang dalam acara *Global Leadership Camp* 2018 (GLC 2018) yang diadakan oleh ITS IO bekerjasama dengan Pemerintahan Surabaya untuk sosialisasi fasilitas *Broadband Learning Center* (BLC) ke masyarakat di wilayah Surabaya. Penulis memiliki hobi bermain bola basket dan bergabung dengan tim basket putri FTSP dan FTSLK ITS pada tahun 2016-2019 untuk bertanding dalam acara Dies' natalis ITS yang diadakan setiap tahun. Dalam bidang kepanitiaan, penulis memiliki banyak pengalaman yang akan disebutkan beberapa di antaranya; menjadi panitia Pekan Olahraga Mahasiswa ITS 2017, menjadi staff divisi acara Geoscience Atmosphere 2017; menjadi koordinator sub-divisi acara Geosphere Atmosphere 2019; menjadi Ketua Pelaksana Wisuda 117 dan 118 HMTG ITS; menjadi staff divisi acara Kelas Inspirasi Kebumihan 2017; dan menjadi pengajar Kelas Inspirasi Kebumihan 2018. Dalam bidang akademik, selama kuliah penulis pernah menjadi asisten praktikum laboratorium Departemen Fisika ITS, Eksplorasi Gaya Berat dan Magnetik, dan Eksplorasi Geolistrik Departemen Teknik Geofisika ITS. Kegiatan lapangan yang pernah diikuti oleh penulis antara lain; kunjungan ke Pertamina EP dalam acara *Petroleum Inspiring Talk and Trip* 2017 yang diadakan oleh STEM Akamigas di Cepu, Jawa Tengah; kuliah lapangan geologi di Wringinanom Gresik, Jawa Timur tahun 2017; kuliah lapangan geologi di LIPI Karangsembung tahun 2018; dan kuliah lapangan terpadu di Gondang, Bojonegoro, Jawa Timur tahun 2019. Penulis pernah melakukan Kerja Praktik di Pusat Air Tanah, Geologi, dan Tata Lingkungan (PATGTL) di Bandung, Jawa Barat pada 1 Juli-1 Agustus 2019. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi terkait tugas akhir atau hal lain dapat menghubungi penulis melalui email nawangsariputri27@gmail.com.